

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto  
Puunjalostustekniikan laitos

Miia Tähtinen

PUULEVYJEN TIHEYYS-, LUJUUS- JA TURPOAMA-  
OMINAISUUDET

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 16.11.1993

Työn valvoja: Vt. professori Marketta Sipi

Työn ohjaaja: Diplomi-insinööri Timo Ollila

"Onni on oma kirja"

Nalle Puh

Diplomityö on tehty Schauman Wood Oy:n tehtaalla Puhoksessa. Haluan kiittää yritystä mahdollisuudesta tutkia uutta ja mielenkiintoista aihetta.

Kiitän vt. professori Marketta Sipiä diplomityön valvojana toimimisesta ja Schauman Wood Oy:n tutkimuspäällikkö Timo Ollilaa työn ohjauksesta ja monista hyvistä neuvoista, joita työn kuluessa olen saanut. Kiitos myös Schauman Wood Oy:n tuotekehityspäällikkö Antti Mäenpäälle avusta ja neuvoista ja johtaja Matti Pitkäselle luottamuksesta antaa työ tehtäväkseni. Lopuksi kiitän Schauman Wood Oy:n Puhoksen tehtaan laboratoriossa ja muulla tehtaassa työskenteleviä, työni edistämistä avustaneita henkilöitä ymmärtämyksestä ja aina valmiista avusta.

Espoossa 16.11.1993

*Miia Tähtinen*

Miia Tähtinen



Tekijä, työn nimi

Miia Tähtinen, PUULEVYJEN TIHEYD-, LUJUUS- JA TURPOAMAOMINAISUUDET

Päivämäärä: 16.11.1993

Sivumäärä: 61

Osasto, laitos, professuuri

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto, puunjalostustekniikan laitos, Puun mekaanisen teknologian laboratorio

Työn valvoja

Työn ohjaaja

Vt. professori Marketta Sipi

Diplomi-insinööri Timo Ollila

ässä työssä tutkitaan uutta tapaa liimata lastulevyä. Tutkimuksessa liima-aineen osuus keskilastusta oli 10 %..70 % 10 %:n välein. Lisäksi työssä selvitetään erilaisten keskilastujen vaikutusta levyjen ominaisuuksiin. Tutkitut keskilastut olivat keskilastu, pintalastu, pöly, kuitu ja strand. Tutkitut ominaisuudet olivat tiheys, taivutuslujuus, poikittaisvetolujuus, paksuusturpoama ja pituusturpoama. Kokeet on suoritettu lastulevystandardin SFS 3516 mukaisesti ja saatuja arvoja on verrattu kirjallisuuden arvoihin.

Kirjallisuusosassa selvitetään yleistä muovi- ja liimakemialla, sekä liima-aineen ominaisuuksia. Käytetyn liima-aineen ominaisuudet ovat olleet keskeisellä sijalla. Ennen koetulosten käsittelyä on selvitetty mahdollisimman tarkasti koeolosuhteita ja käytettyjä menetelmiä.

Kokeellisessa osassa selvitetään saatuja tuloksia ja niiden luotettavuutta. Koska eräänä työn tarkoituksista oli antaa tilastollisesti mahdollisimman tarkkaa tietoa, on tuloksia käsitelty useilla tilastollisilla menetelmillä. Tulosten luotettavuuden selvittäminen on ollut tärkeää. Työn loppuosassa on annettu tekijän käsitys tulosten merkityksestä käytännön kannalta.

Kokeissa saatiin hyviä poikittaisvetolujuus- ja pituusturpoama-arvoja. Taipumislujuus- ja paksuusturpoama-arvot eivät yltäneet kirjallisuusarvojen tasolle. Liimaosuuden kasvaessa 10 %:sta 70 %:iin paranivat taivutuslujuudet huomattavasti. Kasvu oli eksponentiaalista. Keskilastuista parhaaksi osoittautui normaali keskilastu. Pintalastu ja kuitu antoivat hyvin samankaltaiset, keskilastua heikommat ja pölyä ja strandia paremmat, tulokset. Pölyä käytettäessä lujuus oli selvästi alhaisempi. Strand antoi pölyäkin heikommat tulokset.

Pituusturpoama laski merkittävästi liima-aineosuuden noustessa 60 %:lla. Keskilastumateriaalin aiheuttamat muutokset olivat hyvin pieniä. Keskilastua tutkivan sarjan (A-sarja) tiheys oli liimaosuutta tutkivan sarjan (B-sarja) tiheyttä suurempi.

Taivutuslujuus kasvoi eksponentiaalisesti välillä 10%..60% ja laski n. neljäsosaan välillä 60 %..70 %. Kasvu oli pienempää kuin taipumislujuuden nousu, mutta vielä erittäin merkittävää. Keskilastun aiheuttamat muutokset olivat muuten kuten poikittaisvetolujuuskappaleillakin, mutta pienimpien tulosten sijasta strandilla saatiin suurimmat tulokset.

Paksuusturpoama laski huomattavasti välillä 10 %..70 %. Lasku oli eksponentiaalista. Strandia lukuun ottamatta keskilastulla ei ollut suurta vaikutusta paksuusturpoamaan. Strand turposi muita selvästi enemmän.

Levyjen tiheyksillä oli suora vaikutus levyjen ominaisuuksiin. Levyjen ominaisuudet paranivat niiden tiheyden kasvaessa.

## Author, Title

Miia Tähtinen, THE DENSITY, STRENGTH AND SWELLING OF WOODEN BOARDS

Date: 16.11.1993

Pages: 61

Faculty, Department, Laboratory

Faculty of Process Technology and Material Science, Department of Forest Products,  
Laboratory of Mechanical Wood Technology

Supervisor

Instructor

Prof. Marketta Sipi

Timo Ollila, M.Sc.

The purpose of this master thesis is to test a new way of gluing particleboards. The amount of glue was 10 %..70 % of the total weight of the middle substance. Different kinds of particles in the middle layer were tested as well. The tested middle chips were normal production middle chip, normal surface chip, production dust, fibre and strand. The tested properties were density, tensile strength, compression strength and swelling in two different dimensions, length and thickness. The testing was done according to the standard for testing particleboards SFS 3516 and the values acquired have been compared with literature.

Because chemistry involved is of some importance, the literature part of the thesis was devoted to basic plastic and glue chemistry. The properties of the glue used in the tests were the main issue. The conditions and methods used in the tests were explained as fully as possible.

The most important part of the thesis deals with the results and their accuracy. One of the objectives of the work is to provide statistically correct information about the properties of the boards. Therefore the results were analyzed with different statistical methods. The practical meaning of the results has been explained.

The compression and thickness swelling results were good. The tensile strength and the swelling in lengthal dimension were not up to the values given in literature. As the amount of glue-substance in the board rose from 10 % to 70 %, the compression strength grew significantly. The growth was exponential. The normal middle chips used in the process gave the best results. The use of fibres and process surface chips gave smaller values in compression properties. The values for surface chips and fibres were similar. Industrial process dust gave smaller values. Strand had the smallest compression strength.

The swelling in lengthal dimension fell significantly when the amount of glue rose by 60 %. The changes the middle chip made were small. The experimental series that tested the changes by glue (A-series) had a smaller density than the series for testing changes caused by the middle chip (B-series).

The tensile strength grew exponentially when the amount of glue used was between 10 % and 60 %. Between 60 % and 70 % the strength rose about 25 %. The changes by the middle chip were like the ones in testing the compression strength, but instead of getting the smallest value for tensile strength strand got the best one.

The thickness swelling fell significantly between 10 % and 70 %. The fall was exponential. Disregarding strand, the middle chip made no differences in the values. Strand swelled more than the other middle chips.

The density of the boards had a direct correlation with the technical properties of the boards. The higher the density was, the better the properties were.



# SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....                             | 1  |
| 2 YLEISTÄ MUOVEISTA .....                    | 2  |
| 3 KESTOMUOVIT .....                          | 4  |
| 3.1 YLEISTÄ .....                            | 4  |
| 3.2 POLYOLEFIINIT .....                      | 4  |
| 3.2.1 Polyeteeni (PE) .....                  | 5  |
| 3.2.2 Polyeteenin ominaisuudet .....         | 5  |
| 3.2.3 Polyeteenin käyttö .....               | 9  |
| 3.2.4 Polyeteenin lisäaineita .....          | 9  |
| 3.2.5 Muita polyolefiineja .....             | 10 |
| 3.3 KLOORIPITOISET MUOVIT .....              | 11 |
| 3.3.1 Polyvinylikloridi (PVC) .....          | 11 |
| 3.3.2 PVC:n ominaisuudet .....               | 11 |
| 3.3.3 Muita klooripitoisia muoveja .....     | 13 |
| 4 KERTAMUOVIT .....                          | 14 |
| 4.1 FENOLIMUOVIT .....                       | 14 |
| 4.2 LIIMA .....                              | 14 |
| 4.3 MUOVI LISÄAINEENA .....                  | 15 |
| 5 MUOVIEN KIERRÄTYS JA KIERRÄTETTÄVYYS ..... | 17 |
| 5.1 MUOVIEN KIERRÄTYS .....                  | 17 |
| 5.2 MUOVIEN KIERRÄTETTÄVYYS .....            | 19 |
| 6 AINEISTO JA MENETELMÄT .....               | 21 |
| 6.1 ESIVALMISTELUT .....                     | 21 |
| 6.2 LEVYJEN VALMISTAMINEN .....              | 22 |
| 6.3 KOESUUNNITELMA .....                     | 23 |
| 6.3.1 Vakiot .....                           | 23 |
| 6.3.2 Raaka-aineet .....                     | 24 |
| 6.4 KOESTUSKAPPALEET .....                   | 26 |
| 6.5 TILASTOLLINEN TESTAUS .....              | 27 |
| 7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....        | 29 |
| 7.1 STANDARDIVERTAILUTAULUKOITA .....        | 29 |
| 7.2 LEVYJEN TIHEYS .....                     | 31 |
| 7.2.1 A-osan tiheys .....                    | 31 |
| 7.2.2 B-osan tiheys .....                    | 33 |
| 7.3 LEVYJEN TAIVUTUSLUJUUDET .....           | 35 |
| 7.3.1 A-osan taivutuslujuus .....            | 35 |
| 7.3.2 B-osan taivutuslujuus .....            | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 7.4 LEVYJEN POIKITTAISVETOLUJUUDET .....              | 39 |
| 7.4.1 A-osan poikittaisvetolujuus .....               | 39 |
| 7.4.2 B-osan poikittaisvetolujuus .....               | 41 |
| 7.5 LEVYJEN PAKSUUSTURPOAMA .....                     | 43 |
| 7.5.1 A-osan paksuusturpoama .....                    | 43 |
| 7.5.2 B-osan paksuusturpoama .....                    | 45 |
| 7.6 LEVYJEN PITUUSTURPOAMA .....                      | 47 |
| 7.6.1 A-osan pituusturpoamat .....                    | 47 |
| 7.6.2 B-osa pituusturpoamat .....                     | 49 |
| 7.7 TIHEYDEN VAIKUTUS OMINAISUUKSIIN .....            | 50 |
| 7.7.1 Tiheys muoviosuudella 40 % .....                | 50 |
| 7.7.2 Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen .....       | 51 |
| 7.7.3 Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ..... | 52 |
| 7.7.4 Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan .....       | 53 |
| 7.7.5 Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan .....        | 54 |
| 7.8 PURISTUSAJAN VAIKUTUS OMINAISUUKSIIN .....        | 55 |
| 8 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ .....                                | 56 |
| 9 YHTEENVETO .....                                    | 57 |
| 10 KIRJALLISUUSVIITTEET .....                         | 60 |
| Lehtiartikkelit .....                                 | 60 |
| Kirjallisuus .....                                    | 60 |
| Standardit .....                                      | 61 |

## 1. JOHDANTO

Diplomityössä käsitellään polyeteenillä liimattujen puulevyjen ominaisuuksia polyeteenipitoisuuden ja keskilastun koon vaihdellessa. Työhön liittyvät kokeet suoritettiin Schauman Wood Oy:n koelaboratoriossa Puhoksessa. Työn alkuosassa selvitetään kirjallisuuden avulla muoveja ja niiden ominaisuuksia. Työn loppuosassa tutkitaan polyeteenistä ja puusta koostuvien levyjen tiheyksiä, taivutus- ja poikittaisvetolujuus- sekä paksuus- ja pituusturpoamaominaisuuksia. Kokeellisen osan tulokset on käsitelty tilastollisesti sekä numeerisesti että graafisesti. Saatuja arvoja on verrattu kirjallisuudesta löydettyihin tavallisen lastulevyn vastaaviin arvoihin.

Työ liittyy Schauman Wood Oy:n tutkimukseen mahdollisuuksista käyttää polyeteeniä puulevyjen liimaukseen. Tutkimus on osa Tekes'in rahoittamaa suurempaa projektia, jonka lähtökohtana on hyödyntää teollisuudessa runsaasti syntyvää edullista tai ilmaista muovijätettä. Alunperin tarkoituksena oli löytää järkevä tapa hyödyntää pinnoitepaperijätettä, jonka toinen puoli oli polyeteeniä ja toinen voimapaperia. Ensimmäiset koelevyt olivat kuitenkin sen verran hyviä, että aihetta päätettiin tutkia tarkemmin. Muovijätteitä syntyy Euroopassa vuosittain useita miljoonia tonneja; tälle kaikelle olisi löydettävä järkevä käyttökohde. Nykyisellään muovijätteen polttaminen on esim. Saksassa lailla kiellettyä.

Tämän työn varsinainen anti projektille on arvioitujen tulosten tilastollinen vahvistaminen ja levyjen teknisten ominaisuuksien selvittäminen. Tutkittavaa aihetta käsittelevä patentti on hakemuksessa.



## 2 YLEISTÄ MUOVEISTA

Muovi koostuu polymeereista ja lisäaineista. Lisäaineita muoveissa on prosentista 80 %:iin asti. Muovit jaetaan yleensä kesto- ja kertamuoveihin sekä elastomeereihin. Kestomuoveja voidaan muovata useampia kertoja, kertamuovia vain kerran. Elastomeerit ovat polymeereja, joilla on erittäin hyvä muodonmuutoksen palautumisominaisuus. Näistä ja lisäaineista syntyvät kumit. /10/

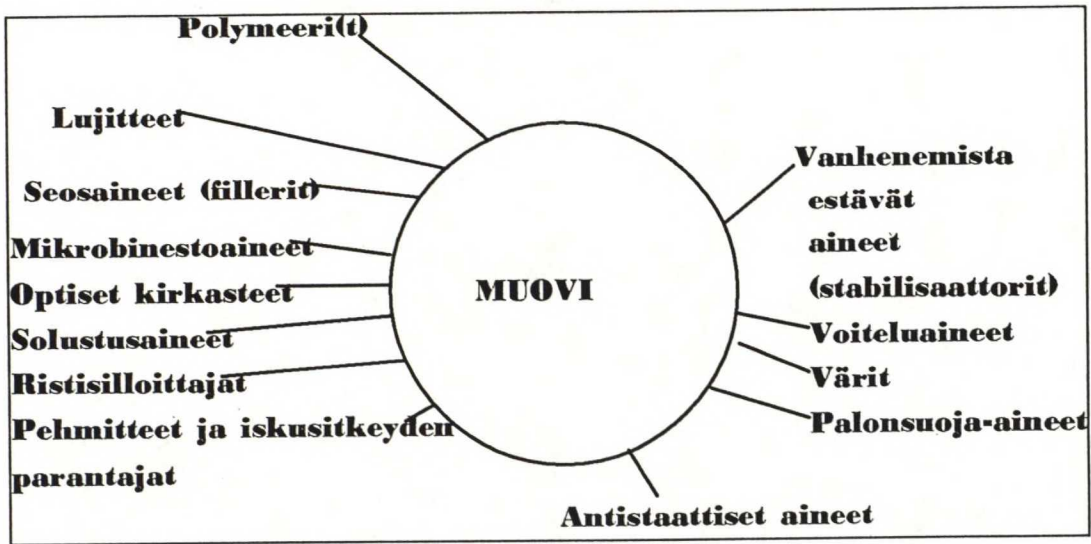
Muovit voidaan jakaa myös massatuotanto-, teknisiin ja erikoismuoveihin kulutuksensa ja käyttötarkoituksensa mukaan. Massatuotantomuoveja voidaan kutsua myös volyymimuoveiksi niiden laajan käyttöalueen takia. Massatuotantomuovien hinta on alhainen, lähinnä lujuus- ja lämmönkesto-ominaisuuksien kustannuksella. Massatuotantomuoveihin kuuluvat polyolefiinit, polyvinyylidikloridi ja styreenimuovit. Kulutus kattaa jopa 80 % kaikesta muovin kulutuksesta. /11/

Tekniset muovit ovat nimensä mukaisesti lähinnä teknisiin sovelluksiin käytettäviä muoveja, jotka ovat ominaisuuksiltaan massatuotantomuovia parempia ja hinnaltaan kalliimpia. Erikoismuovit ovat ominaisuuksiltaan vielä parempia tai niillä on jokin erityisominaisuus. Ne ovat erittäin kalliita. /11/

Edellinen jako ei ole kansainvälisesti yleinen. Vastaava englanninkielisestä kirjallisuudesta /14/ löytynyt jaottelu on jako neljään "saareen".

Nykyään eniten käytettyjä muoveja ovat polyeteeni (PE), polyvinyylidikloridi (PVC), polystyreeni (PS) ja polypropeeni (PP). Niiden osuus Länsi-Euroopan muovituotannosta on 80-81 %. Muovien etuja ovat hyvät yleisominaisuudet ja halpa hinta. /18/

Muovien koostumus on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Muovin koostumus /11/

Lisäaineiden osuus muovissa on välillä 1..80 %. Muovista suurin osa voi olla polymeeriä tai polymeeri voi olla eräänlainen liima-aine, joka sitoo muut komponentit keskenään yhteen. /10/

Polymeerit ovat orgaanisia makromolekyylejä, ketjumaisia eli lineaarisia tai enemmän tai vähemmän silloittuneita verkkorakenteita, jotka syntyvät pienempien yksiköiden, monomeerien, liittyessä yhteen. Monomeerit voivat olla samanlaisia tai erilaisia. Liittyminen tapahtuu kemiallisen reaktioiden avulla. Reaktioiden pohjana on hiiliatomin (C) kyky muodostaa neljä yhtä vahvaa sidosta. Sidokset ovat kovalenttisia ja niiden kulmat ovat yhtä suuria. /10/

Polymeerit ovat joko kiteisiä tai amorfisia. Kiteytymisen edellytyksenä on monomeerin yksinkertaisuus ja polymeerin symmetrisyys. /10/

### 3 KESTOMUOVIT

#### 3.1 YLEISTÄ

Lineaaristen polymeerien molekyylit ovat lujia, mutta sidottu heikosti toisiinsa. Lämpö saa ketjut erkanemaan toisistaan, jolloin muovista tulee muokattavaa. Näin syntyy termoplastinen muovi eli kestopuovi, jota voidaan muovata toistuvasti lämmön avulla. Kestomuovit ovat sitkeitä ja joustavia, mutta niillä esiintyy virumista, koska molekyyliketjut pääsevät liukumaan toistensa ohi. /18/ Taulukossa 1 on vertailtu kiteisiä ja amorfisia polymeereja eli kesto- ja kertamuoveja.

Taulukko 1. Kiteisten ja amorfisten polymeerien vertailu /10/

| Kiteiset polymeerit               | Amorfiset polymeerit               |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Kapea sulamispiste                | Laaja pehmenemisalue               |
| Tavallisesti sameita              | Tavallisesti lasikirkkaita         |
| Suuri muottikutistuminen          | Pieni muottikutistuminen           |
| Kestävät liuottimia               | Eivät kestä liuottimia             |
| Hyvä väsymis- ja kulumiskestävyys | Huono väsymis- ja kulumiskestävyys |
| Orientiminen mahdollista          | Orientoiminen heikkoa              |

Osittain kiteisiä polymeerejä ovat esim. polyasetäali (POM), polybuteenitereftalaatti (PBTP), polyamidit (PA), polytetrafluorieteeni eli teflon (PTFE), polyeteeni ja polypropeeni. Amorfisia polymeereja ovat polystyreeni, polyvinyylikloridi, akryylinitriilibutadienistyyreeni (ANBS), polykarbonaatti (PC) ja polymetyylimetakrylaatti (PMM). /10/

Kestomuovin tunnistamisen nyrkkisääntönä voidaan pitää sen vuollettavuutta. Mikäli muovista voidaan vuolla ehyitä lastuja, on se kestopuovia. /15/

#### 3.2 POLYOLEFIINIT

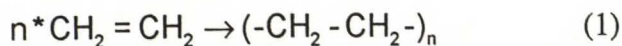
Olefiineiksi kutsutaan lineaarisia tai haaroittuneita hiilivetyjä, joissa on ainakin yksi kaksoissidos. Tavallisimmat polymeerit ovat joko ketjumaisten tai enemmän tai vähemmän silloittuneiden verkkorakenteiden muodostamia orgaanisia



jättiläismolekyyliä. /10/ Valmistukseen käytetyt mono-olefiinit ovat eteeni, propeeni, 1-buteeni, isobuteeni, dimetyylibenteeni-1 ja diolefiinit butadieeni ja isopreeni. /18/

### 3.2.1 Polyeteeni (PE)

Eteenin ( $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ) polymeroitumisen yleiskaava on /18/:



Kaikissa kaupallisissa eteenin polymeroimismenetelmissä polymeerimolekyylihin muodostuu haaroja. Nämä haarat ovat etyyliryhmiä, butyyliryhmiä tai pitempiä haarautumia. Butyyliryhmät ovat muita ryhmiä harvinaisempia. Mikäli pieniä haaroja on paljon, ne ehkäisevät aineen kiteytymistä ja alentavat siten sen tiheyttä. Kiteytyneiden alueiden eli kristalliittien esiintyminen antaa polyeteenille muovilta vaadittavat lujuusominaisuudet. /18/

Kaupallisen polyeteenin nimitys on polythene. Eteenin polymeroituminen on radikaalisitoutumista ja siihen tarvitaan korkea paine. /16/

Polyeteenit voidaan jakaa tiheyden mukaan kolmeen päätyyppiin. Näistä tunnetuimmat ja eniten käytetyt ovat LD-polyeteeni ja HD-polyeteeni. LD(Low Density)-polyeteeni on matalatiheyskainen polyeteeni eli korkeapaine-polyeteeni, jonka tiheys on  $0,910 - 0,925 \text{ g/cm}^3$ . HD(High Density)-polyeteenin tiheys on  $0,941 - 0,959 \text{ g/cm}^3$ . Lisäksi on olemassa vielä MD(Middle Density) polyeteeniä. Sen tiheys on  $0,926 - 0,940 \text{ g/cm}^3$ . /18/

Polyeteenin kehittäminen oli aikanaan täysin tietoisista. Englannin laivasto kehitti tutkaa ja havaitsi, etteivät silloiset eristemateriaalit kestäneet tykinlaukausta vastaavaa painetta. Tiedelaboratoriot kehittivät siten paljon suuremman eristyskyvyn omaavan, hyvin taipuisan aineen, LDPE:n. /14/

### 3.2.2 Polyeteenin ominaisuudet

Polyeteeni on vahan tuntuista, vettä kevyempää ainetta, jonka mekaaniset ominaisuudet ovat kohtalaiset ja kemiallinen kestävyys lähes erinomainen. Sen

ominaisuudet riippuvat keskimääräisestä moolimassasta, moolimassajakautumista, lyhyiden ja pitkien haarojen määrästä sekä molekyylien sisältämistä kaksoissidoksista. Lisäksi katalysaattori- ja liuotinjätteet sekä mahdolliset happipitoiset ryhmät vaikuttavat kaupallisten laatujen käyttökelpoisuuteen. /18/

Sulan polyeteenin kiteytyminen tapahtuu helposti ja nopeasti lämpötilan laskiessa sulamislämpötilan alapuolelle. Kiteytymisen puoliaika on niin lyhyt, että sitä ei ole pystytty edes mittaamaan. Kiteissä molekyylin hiilirunko esiintyy tasomaisissa sik-sak muodoissa. /18/

Kristalliitit ovat perusrakenteeltaan levymäisiä ja ne liittyvät yhtenäiseksi aineeksi kristalliitista toiseen kulkevien molekyylisegmenttien muodostaman amorfisen aineen välityksellä. Kiteen yksikkökoppi on *ortorombinen*. Lineaarisen polyeteenin täysin kiteisen osan tiheys on  $1,014 \text{ g/cm}^3$  ja amorfisen osan  $0,84 \text{ g/cm}^3$ . /18/

Kaksoissidokset ovat polyeteenin heikkoja kohtia, joista hapettuminen alkaa helpoimmin. Sekä vinylideeni- että vinyleeniryhmät vaikeuttavat kiteytymistä. /18/

Polyeteenin  $T_g$ -lämpötila on  $-120^\circ\text{C}$ .  $T_g$  on lämpötila, jossa amorfisen aineosan molekyylisegmenttien liike lakkaa. LD-polyeteenin sulamislämpötila on välillä  $108\text{--}120^\circ\text{C}$ . Lineaaristen polymeerien sulamislämpötilat ovat  $130^\circ\text{C}$ :n ja  $137^\circ\text{C}$ :een välillä. /18/ Sulaindeksilukujen ja moolimassan suhteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Sulaindeksilukujen ja moolimassan suhteet /18/

| Sulaindeksiluku<br><i>g/10 min</i> | Moolimassa $M_n$<br><i>g/mol</i> |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 0,2                                | 48 000                           |
| 2                                  | 32 000                           |
| 7                                  | 28 000                           |
| 20                                 | 24 000                           |
| 70                                 | 21 000                           |
| 200                                | 19 000                           |

Mitä pienempi sulaindeksiluku on, sitä vaikeampi sulatetta on työstää ja sitä vahvempia tuotteet ovat. Moolimassajakautumalla on oma vaikutuksensa; pienet molekyylit alentavat useita lujuusarvoja, kuten vetolujuutta, mutta eivät helpota työstöä. Kiteisyys ei vaikuta vetomurtolujuuteen. /18/



Polyeteenin mekaaniset ominaisuudet eivät ole muihin tavallisiin muoveihin verrattuna mittausarvoiltaan kovin korkeita. Varsinkin taipumus virumiseen estää sen käytön raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Erinomaiset kemialliset ja sähköneristysominaisuudet ja halpa hinta ovat kuitenkin tehneet polyeteenistä eniten käytetyn muoviaiheen. /18/

Mekaaniset ominaisuudet riippuvat kiteisyyden määrästä ja molekyylien koosta. /18/ Polyeteenin ominaisuuksia on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Polyeteenin ominaisuudet /18/

| Ominaisuus  | LD-polyeteeni          | HD-polyeteeni          |
|---|------------------------|------------------------|
| Tiheys, $g/cm^3$                                  | 0,910 - 0,925          | > 0,941                |
| Sulamislämpötila, $T_m$ , ° C                     | 105 - 120              | 130 - 137              |
| Taipumislämpötila (0,45 N/mm <sup>2</sup> ), ° C  | 45                     | 75 - 80                |
| Vicat-pehmenemislämpötila (B/50), ° C             | 40                     | 75 - 80                |
| Kylmänkestävyys, ° C                              | -63                    | - 50                   |
| Vetolujuus, MPa                                   | 7-16                   | 20 - 35                |
| Venymä, %   | 100-700                | 200 - 900              |
| Vetokimmokerroin, MPa                             | 70-560                 | 420 - 1300             |
| Kovuus, Shore D                                   | 40-50                  | 60 - 70                |
| Izod lovi-iskulujuus, J/m                         | ei murtumista          | 27 - 1060              |
| Charpy lovi-iskulujuus, kJ/m <sup>2</sup>         | ei murtumista          | 6 -ei murtumista       |
| Pituuden lämpötilakerroin, ° C <sup>-1</sup>      | 23 * 10 <sup>-5</sup>  | 15 * 10 <sup>-5</sup>  |
| Lämmönjohtavuus, W/mK                             | 0,32 - 0,40            | 0,38 - 0,51            |
| Ominaisvastus, Wcm                                | >10 <sup>17</sup>      | > 10 <sup>17</sup>     |
| Pintavastus, W                                    | 10 <sup>14</sup>       | 10 <sup>14</sup>       |
| Suhteellinen permittiivisyys $\epsilon_r$ : 50 Hz | 2,29                   | 2,35                   |
| 10 <sup>6</sup> Hz                                | 2,28                   | 2,34                   |
| Häviökerroin $\tan \delta$ : 50 Hz                | 1,5 * 10 <sup>-4</sup> | 2,4 * 10 <sup>-4</sup> |
| 10 <sup>6</sup> Hz                                | 0,8 * 10 <sup>-4</sup> | 2,0 * 10 <sup>-4</sup> |
| Veden imeytyminen (24 h, 23 °C), %                | < 0,01                 | < 0,01                 |

Kuumennettaessa polyeteeniä se sulaa ensin ja alkaa hajota 290 °C:n yläpuolella. Yli 350 °C:ssa se alkaa muodostaa haihtuvia aineita. Kuumennuskäsittelyllä valmistetaan polyeteenivahaa, jonka moolimassa on noin 700 g/mol. /18/ PE on taipuisaa suhteellisen alhaisissakin lämpötiloissa; eräät laadut taipuvat jo 60 °C:ssa. Käytön

kannalta on tärkeää selvittää missä lämpötilassa muovi säilyttää vielä muotonsa. Palamiskokeessa PE syttyy ja palaa nopeavalla liekillä siten, että aine sulaa ja tippuu. /10/

Polyeteeni ei liukene mihinkään liuottimeen tavallisessa lämpötilassa. LD-polyeteeni liukenee bentseeniin 60 °C:ssa, mutta kiteisemmät laadut vasta 80-90 °C:ssa. Muita polyeteenin liuottimia ovat aromaattiset liuottimet, kuten tolueeni ja ksyleeni, sekä klooratut hiilivedyt, kuten dikloorietaani ja hiilitetrakloridi. /18/

Kemiallisilta kestävyysominaisuuksiltaan polyeteeni muistuttaa parafiinia. Se kestää vettä, suolaliuoksia, laimeita happoja ja alkaleja sekä monia muita kemikaaleja, mutta ei hapettavia happoja. Kemiallinen kestävyys kasvaa kiteisyyden kasvaessa. /18/

Ultraviolettisäteily haurastuttaa LDPE:tä siten, että muovi säröilee ja hajoaa. Tätä prosessia pyritään tietyissä tapauksissa jopa nopeuttamaan. Nopeutunutta hajoamista haetaan esimerkiksi luonnossa hajoavien muovipussien valmistuksessa. Hajoamisen estämiseksi voidaan LDPE:hen lisätä esim. 3 % nokea. /10/

Kaasujen, varsinkin vesihöyryn, läpäisyarvot ovat alhaiset, vaikkakaan eivät samaa luokkaa kuin parhaiden barrier-muovien. Mitä kiteisempiä polymeerit ovat, sitä vähemmän ne läpäisevät kaasua. /18/

Polyeteenissä saattaa vähitellen muodostua vedon tai taivutuksen alaiseen kappaleeseen murtumiseen johtavia säröjä. Ilmiötä kutsutaan jännityssäröilyksi. Jännityssäröjen muodostuminen nopeutuu huomattavasti, kun kappaleeseen samanaikaisesti vaikuttaa polaarisia liuottimia, pinta-aktiivisia aineita tai alkaleja sisältävää vettä. /18/

Mitattaessa muovin kovuutta käsivaraisesti voidaan sanoa, että LDPE on hyvin taipuisaa ja HDPE jäykähköä. Murtumisloueultaan polyeteeni on hyvin sitkeää; sitä on vaikea murtaa poikki. /15/

Polyeteenin sähköneristysominaisuudet ovat tavallisessa lämpötilassa erinomaiset, koska ominaisvastuksen, pintavastuksen ja läpilyöntikestävyyden arvot ovat korkeat ja suhteellisen permittiivisyyden (dielektrisyysvakion) sekä häviökertoimen arvot alhaiset. /18/

Väritään polyeteeni on maitomaisen vaalea tai vesi-maidon värinen. LDPE saattaa olla lasikirkasta, mutta vain ohuina kalvoina. Värjätynä tai täytettynä polyeteeni on muiden



muovien tavoin läpinäkymätön. /15/ Polyeteenin kyky imeä vettä itseensä on hyvin pieni.

### 3.2.3 Polyeteenin käyttö

Tyypillisiä PE-tuotteita ovat taloustarvikkeet, saniteettitarvikkeet ja lelut, joiden sulaindeksiluku on 40-20, sangot ja kylpyammeet (sulaindeksiluku 7), teollisuustarvikkeet, paperin pinnoitteet, kaapelivaipat, pakkauskalvot ja -pussit (sulaindeksiluku 4) sekä putket, kojeiden osat, kaapelivaipat ja vahvat kalvot (sulaindeksiluku 0,2-2).

Polyeteeniä on 1970-luvulta lähtien käytetty osa-aineena esim. polypropeenin ja propyleeniä sisältävien tuotteiden kanssa. Siihen lisätään fillereitä, vahvistavia kuituja ja kumeja, tasaannutavia ainesosia ja muita polymeerejä.

Tiheydellisesti käyttö jakaantuu siten, että LDPE:stä tehdään yleisesti käytössä olevia esineitä. Tällaisia ovat mm. talousesineet, kuten pullot, kulhot, säiliöt ja ämpärit, leikkikalut, pakkauskalvo, putket, kaapelineristykset, paperinpäälykset, kuidut köysiä varten, kalvo maatalouteen, pussit ja kassit.

HDPE:stä saadaan samankaltaisia, mutta jäykempiä tuotteita. Tällaisia ovat laatikot, säiliöt, putket, kastelukannut sekä pakkaus- ja säilytystarvikkeet. /11/

### 3.2.4 Polyeteenin lisäaineita

Täyteaineiden käyttö LDPE:ssä ei ole kovin yleistä. Muutamia käytössä olevia aineita ovat talkki, kiille, kaoliini ja wollastoniitti. Matalajännitekaapeleissa käytettävään LDPE:hen on lisätty kalsiumkarbonaattia. HDPE:hen lisätään joissain ruiskupuristussovelluksissa katkolasikuitua lujitteeksi.

Polyeteenissa käytetään palonestoon enimmäkseen halogeenia, lähinnä klooria tai bromia, yhdessä antimonitrioksidin kanssa. Polyeteenin ja palonestoaineen suhde on usein 2:1.

Muita lisäaineita ovat mm. antioksidantit, eli hapettumisen estoaineet, UV-absorberit eli ultraviolettisäteilyä estävät aineet ja antistaattiset aineet eli sähköisyyden poistoon tarvittavat aineet. /10/

### 3.2.5 Muita polyolefiineja

Muut polyolefiinit ovat hyvin samankaltaisia polyeteenin kanssa. Niitä on esitetty taulukossa 4.

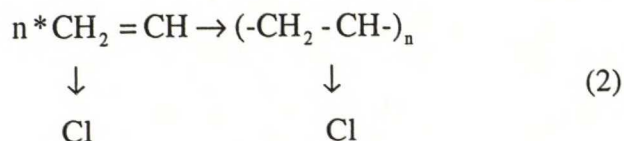
Taulukko 4. Muita polyolefiineja /18/

| Polyolefiini                                     | Käyttökohde  |
|--|--|
| 1. Silloitettu polyeteeni (PEX)                  | Kuumavesiputket, kalvot, levyt   |
| 2. Eteenin ja vinyylasetaatin kopolymeerit (EVA) | Pullot, auton muoviosat, muut kappaletuotteet  |
| 3. Kloorattu polyeteeni (PEC)                    | Kaapelien pinnoitus, lisäaineena   |
| 4. Kloorisulfonoitu polyeteeni (CSM)             | Vesi-, höyry- ja kemikaaliletkut, kemikaalisäiliöiden vuoraus, tiivisteet, sähköjohtojen & kaapelien pinnoitus ja suojapeitteet  |
| 5. Polyallomeerit                                | Levyt, profiilit ja ruiskupuristetut kappaleet   |
| 6. Polypropeeni (PP)                             | Pakkauslaatikot, kojeiden (Esim, TV) kotelot, säiliöt, pullot, sterilisoitavat lääkepakkaukset, taloustavarat, putket, kalvot, monofilamentit, kuidut, kalvokuidut, käydet, matot, vahvat tekstiilit |
| 7. Polybuteeni (PB)                              | Kylmä- ja kuumavesiputkien sekä säiliöiden ja kalvojen valmistus   |
| 8. Polyisobuteeni (PIB)                          | Hyvää kaasunläpäisevyyttä ja säänkestoa tarvittavissa kohteissa  |
| 9. Polymetyylipenteeni (PMP)                     | Sterilisoitavat pakkaukset, sähköneristyskalvot, sähkölaitteiden suojakaapit, keittiökoneet  |
| 10. Syndiotaktinen 1,2-polybutadieeni            | Elintarvikepakkaukset, sulateliima, pinnoite teräslevyjen ja -peltien maalauksessa   |

### 3.3 KLOORIPITOISET MUOVIT

#### 3.3.1 Polyvinyylikloridi (PVC)

Polyvinyylikloridi on toiseksi eniten käytetty muoviaine polyeteenin jälkeen. Polyvinyylin polymeroinnin yleiskaava on /18/:



Vinylikloridi on normaalilämpötilassa kaasu. Se on myrkyllinen ja syöpää aiheuttava. /18/

#### 3.3.2 PVC:n ominaisuudet

PVC on väritöntä, jäykkää ja lujaa ainetta. Massa-PVC on kirkkain PVC-muovi, emulsio-PVC samein. PVC alkaa hajota lievästi jo alle 100 °C:ssa. PVC:n, pehmitetyn PVC:n ja klooratun PVC:n ominaisuuksia on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. PVC:den ominaisuuksia /18/

| Ominaisuus                                  | Kova PVC<br>(putkilaatu) | Pehmitetty PVC<br>(PVC/DOP=<br>80/40) | Kloorattu<br>PVC<br>(64 % Cl) |
|---|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Tiheys, $g/cm^3$                            | 1,39                     | 1,19                                  | 1,55                          |
| Vetolujuus, $MPa$                           | 50-65                    | 25-28                                 | 75                            |
| Venymä, %                                   | 20-50                    | 370-400                               | 10-15                         |
| Vetokimmokerroin, $MPa$                     | 3 000                    | -                                     | 3 500                         |
| Kuulapuristuskovuus (10 s), $MPa$           | 110-130                  | -                                     | 155                           |
| Shore-kovuus                                | D83-D84                  | D30/A78                               | -                             |
| Charpy-kovuus<br>(lovi) 20 °C, $Nmm/mm^2$   | 2-5                      | -                                     | 2                             |
| Vicat-pehmenemislämpötila, ° C              | 70-90                    | -                                     | 110                           |
| Pituuden lämpötilakerroin, $10^{-5} K^{-1}$ | 7-8                      | 21                                    | 6                             |
| Lämmönjohtavuus, $W/mK$                     | 0,16                     | 0,90                                  | 0,14                          |
| Ominaisvastus, $Wcm$                        | $10^{15}$ - $10^{16}$    | $10^{11}$                             | $>10^{15}$                    |
| Pintavastus, $W$                            | $10^{13}$                | $10^{11}$                             | -                             |
| Läpilyöntikestävyys (1 mm), $kV/mm$         | 20-50                    | 24-26                                 | -                             |
| Suhteellinen permittiivisyys, $\epsilon_r$  |                          |                                       |                               |
| 50 Hz                                       | 3,2-3,7                  | 8,0                                   | 3,2-3,7                       |
| $10^6$ Hz                                   | 2,9-3,2                  | 4,0                                   | 2,9-3,2                       |
| Häviökerroin, $\tan d$                      |                          |                                       |                               |
| 50 Hz                                       | 0,011                    | 0,08                                  | 0,011                         |
| $10^6$ Hz                                   | 0,015                    | 0,12                                  | 0,015                         |
| Veden imeytyminen, $mg/4d$                  | E:14-18<br>S,M:3-4       | E:40-60<br>S:5-10                     | 2                             |

PVC:n käyttöalue on laaja. Esimerkkeinä voitaisiin mainita.

- vesi-, viemäri- ja kemikaaliputket, letkut
- putket sähköjohtoja varten
- sadevesikourut, syöksytorvet
- rakennuslevyt mm. ulkoseiniä varten
- ikkunakehikot
- pehmeät ja kovat profiilit
- lattialaatat



- sähköjohtojen ja kaapelien eristys- ja suojakerrokset
- metalliputkien ja -säiliöiden sekä pumppujen kemikaaleja kestävät pinnoitteet
- muovilla pinnoitetut kankaat, tekonahka
- muovitapetit
- kovat ja pehmeät solumuovit
- kastomenetelmällä valmistetut kappale tuotteet. /18/

### 3.3.3 Muita klooripitoisia muoveja

Jälkikloorattua PVC:tä (PVCC) käytetään teollisuusputkissa, liitoskappaleina, pumppujen osina, säiliöissä, profileissa ja levyissä. Vinyylidikloridin ja vinyyliasetaatin kopolymeeri (PVCA) sopii hyvän kulutuskestävyytensä takia pinnoitteeksi, kuten lattialaattoihin, äänilevyihin, pakkauskalvoksi, tekstiilien päällysteiksi ja pinnoiteaineeksi. /18/

## **4 KERTAMUOVIT**

Polymeerin verkkoutuminen jäykistää rakennetta, estää kiteytymisen ja myös rakenteen sulamisen. Näin syntyy kertamuovi, jota ei voi sulattaa eikä muovata uudelleen. Kertamuovi ei sula kuumennettaessa, vaan hiiltyy tai kaasuuntuu. Kovettumatonta kertamuovia nimitetään usein hartsiksi.

Kertamuoveilla lähtöaineet ja esikondensaatit polymeroituvat lopullisesti tiheästi silloittuneeksi avaruusrakenteeksi muovituotteen valmistuksen aikana. Jos kappaletta kuumennetaan valmistuksen jälkeen, pehmenee muovi hiukan ja sen molekyyli rakenne alkaa samalla pilkkoutua. /18/

### **4.1 FENOLIMUOVIT**

Fenolimuovit valmistetaan jostakin fenolista ja formaldehydistä. Kun raaka-aineena käytetään tavallista fenolia, on muovin tarkempi nimi fenoliformaldehydimuovi. Muita fenoliluokkaan kuuluvia raaka-aineita ovat kresoli, ksülenoli ja resorsinoli. /18/

### **4.2 LIIMA**

Emäksisiä katalysaattoreita käytettäessä formaldehydin ja fenolin suhde on  $>1$  eli 1,5-3:1. Formaldehydiä on riittävästi sekä resolin muodostamiseen että sen silloittamiseen lopulliseksi kovaksi tuotteeksi. Fenoliformaldehydimuovi (ilman täyteaineita) kestää vettä, liuottimia, öljyjä sekä heikkoja happoja ja alkaleja, vaikkakin jotkut niistä voivat hiukan turvottaa muovia. Vahvat hapettavat hapot ja alkalit vahingoittavat polymeerin rakennetta. Taulukossa 6 on esitetty sellaisen fenoliformaldehydimuovilevyn ominaisuuksia, jossa on puujauhoa mukana.

Taulukko 6. Fenoliformaldehydimuovin ominaisuuksia /18/

| Ominaisuus                                     | FF-muovi                           |
|--|------------------------------------|
| Tiheys, $g/cm^3$                               | 1,4-1,45                           |
| Taipumislämpötila (ISO 75, A), ° C             | 120-140                            |
| Taivutuslujuus, $MPa$                          | 62-75                              |
| Lovi-iskulujuus (Izod), $J/m$                  | 13-18                              |
| Ominaisvastus, $Wcm$                           | 10 <sup>11</sup> -10 <sup>12</sup> |
| Pintavastus, $W$                               | 10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup> |
| Läpilyöntikestävyys                            | >10                                |
| Suht. permittiivisyys, $er$                    | 6-10                               |
| Häviökerroin, $tg\delta$ (60-80 Hz)            | 0,1-0,15                           |
| Veden imeytyminen (ASTM D 570, 24 h, 23 °C), % | 0,8                                |

Resolihartsia käytetään runsaasti pahvien, erikoispaperien, kova- ja lastulevyjen, vanerin ja muiden puutuotteiden liimaukseen.

Liimaa on saatavana 50-70 %:sena alkoholiliuoksena, veteen liukoisena jauheena tai vesiliuoksena. Liimaan sekoitetaan viskositeettia lisääviä täyteaineita ja kypsymistä edistäviä aineita kuten paraformaldehydiä. Lastulevyjen valmistuksessa puristuslämpötila on 180-200 °C. Liima kestää sekä kylmää että kuumaa vettä, mikro-organismeja ja sään vaikutusta.

Muita käyttöaloja ovat: solumuovit, hiekan sidosaine valumuoteissa, sidosaine hiomalaikoissa, -levyissä ja -papereissa, sidosaine jarrulevyissä, metallien pinnoitus, ontot mikropallot ja vaikeasti palavat kuidut. /18/

### 4.3 MUOVI LISÄAINEENA

Muovia lisätään moneen kohteeseen parantamaan sitkeysominaisuuksia. Esimerkiksi polypropyleenivaha lisää levyjen lopullisia vahvuuksia 35,5 %:a 3 %:n pitoisuudella ja jo kuuden prosentin pitoisuudella kasvu on 38,7 %. /16/

Selluloosa on hydroksyyliyhmiensä (-C-O-H) ansiosta vahvasti polaarinen aine. Tällöin vety hydroksyyliyhmiessä on vahva elektronin luovuttaja, kun happi, joka on

kiinni joko hiilessä (-C-) tai hydroksyyli ryhmässä, on vahva elektronin vastaanottaja. Tästä syystä selluloosa sopii paremmin yhteen polaaristen aineiden kanssa riippumatta niiden pH-arvosta, sillä ne voivat reagoida keskenään sekä dispersiivisesti että spesifisesti. Polyetyleni on polaariton aine, joten pinnalla tapahtuvat reaktiot selluloosan kanssa johtuvat lähinnä dispersiivisistä voimista. /1/

Sahanpuru on hyvä lisä muoviin halvan hintansa ja matalan tiheydensä vuoksi. Molemmat tekijät voivat laskea kuluja. Lisäksi sahanpuru on hyvin vähän muovia kuluttava. Ssahanpuru saattaa sisältää suurenkin määrän vettä, joten se on kuivattava ennen muovin lisäämistä. Muovi itsessään ei juuri vettä sido. Sahanpurun haittapuolia on sitä sisältävien levyjen fyysisten tekijöiden heikkous. Sahanpurutuotteissa on huono adheesio täyteaineen ja liiman välillä. /4/



## **5 MUOVIEIN KIERRÄTYS JA KIERRÄTETTÄVYYS**

### **5.1 MUOVIEIN KIERRÄTYS**

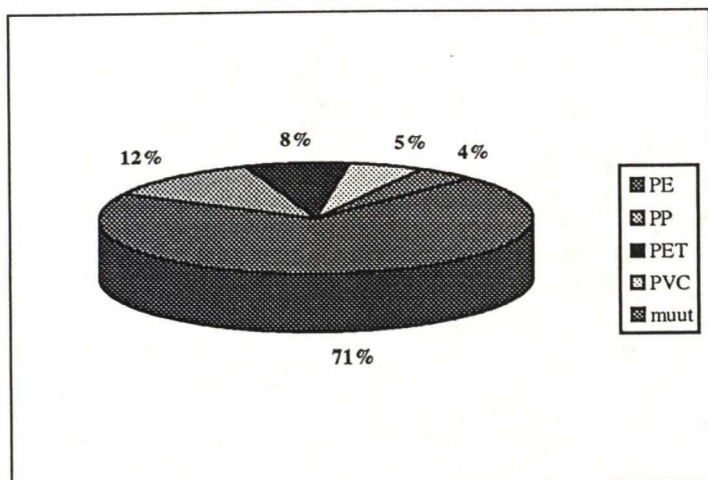
Kiinnostus ympäristöasioihin on kasvanut nopeasti 90-luvulla. Sanomalehdet ja muovi muodostavat kaksi suurinta jäteryhmää. /6/

Muovit ovat öljytuotteita ja siten osa öljyteollisuutta. Muovit ovat raakaöljyn käytöstä vain neljä prosenttia, kun polttoaineen käyttö on yhteensä 86 % ja muu käyttö 10 %. /2./ Jätemuovi voidaan polttaa energiaksi tai kierrättää uusiomuoviksi. Suomessa noin kolmasosa LD-polyeteenin käytöstä kuluu paperin ja kartongin päällystämiseen. /10/

Ympäristökysymysten kasvaneen tärkeyden vuoksi kierrätys on lisääntyneet huomattavasti. Kierrätystä lisäävät lainsäädäntö, tuotantokustannusten lasku ja halu parantaa yrityksen imagoa. Kierrätyksen potentiaali on hyvä. EY:n alueella tuotetaan joka vuosi 2 000 miljoonaa tonnia jätettä, josta noin 7 paino-%:a eli 18 tilavuus-%:a on muovia. Kierrätysmateriaali on halvempaa kuin uuden ostaminen, mutta sen käsittely tekee siitä kallista raaka-ainetta. /7./ Viime vuosikymmenen puolivälissä kestopuovista 42 % suuntautui pakkauksiin. /10/

Yhdysvalloissa vuonna 1986 tuotetun jätemuovin määrä oli noin 700 000 000 paunaa eli n. 336 000 000 kg. Tästä syystä oletetaan jällenkäyttöteollisuuden saavuttavan suuren suosion tulevaisuudessa. Tällä hetkellä tutkittavia alueita ovat myrkyttömät, vesipohjaiset paperin, levyn ja sellupohjaisten muotoilutuotteiden sitoja-aineina ja päällysteinä käytettävät muovit ja niiden uudelleenkäyttö. Tähän lasketaan mukaan lastulevyt (sekä chip-, että particle boards) rakennusteollisuudelle. Päällysteaineena muoveja tutkitaan lasille, alumiinille, puulle sekä muille vastaaville aineille. /17/

Polyolefiinit ja muovit ovat olleet viime aikoina suuren huomion kohteena näkyvyytensä takia; ne ovat paljon käytettyjä pakkausmateriaaleja. Muovijäte jakautuu kuvan 2 mukaan.



Kuva 2. Muovijätteen jakautuminen /7/

Kaikista pakkausmateriaaleista muovi edustaa 11,5 %:a, kun paperi edustaa 47,8 %:a ja lasi 27,1 %:a. Muovijätteen uudelleenkäyttö on noin yhden paino-%:n luokkaa, josta suurin osa tulee teollisuudesta ja juomapulloista (PET). Muita muoveja, kuten HDPE, PS ja PVC kierrätetään paljon vähemmän. Yleensä ottean polyolefiinit eivät ole helposti muutettavissa biologiseen muotoonsa eli maatumaan. /7/

Teollisen jätteen käyttöaste on noin 45 %. /2/ Muovien kierrätyksestä Suomessa tekevät hankalan lähinnä kuljetuskustannukset ja uuden muovin markkinointi. Tiheimmin asutuissa maissa tämä on helpompaa. Saksa aikoo 1.7.1995 mennessä kierrättää 80 % pakkauksistaan. /5/

Toista maailmansotaa edeltävänä aikana sellofaani oli selvästi suosituin pakkausmateriaali. Nyt se on suurimmaksi osaksi korvattu polyolefiineilla, polystyreenillä ja PVC:llä. Yhdysvalloissa käytettiin vuonna 1988 150 000 tonnia HDPE:tä ja 1,3 miljoonaa tonnia LDPE:tä. HDPE-filmiä käytetään tuotteiden pakkauksiksi, teepakkauksiksi, roskapusseiksi ja ruoan pakkaamiseen. Myös LDPE:tä käytetään kuivien ravintotuotteiden pakkaamisen lisäksi pakkauksiksi ruokapakkaamiseen ja vaatepakkaamiseen sekä kutistekelmuksi. /17/

Muovia ei voida kierrättää loputtomiin, niin että jossain vaiheessa muovi täytyy käyttää pysyväksi, pitkäikäiseksi tuotteeksi, esim. levyiksi. Kierrätysmuovista valmistetun levyn ympäristöystävällisyys jatkuu käytön jälkeenkin. Kierrätysmuovista valmistetut rakennuslevyt voidaan polttaa rakennusta purettaessa. Eräässä tutkimuksessa poltettiin kivihiilen ja muovin sekoituksia leijukattilassa. Muovi koostui 60 %:sesti polyeteenistä, 20 %:sesti polypropeenista, 15 %:sesti polystyreenistä ja 5 %:sesti PVC:stä. Kokeen tulos oli rohkaiseva. /2/



Muovit eivät sisällä rikkiä eivätkä typpeä. Hiilidioksidipitoisuudet kaasuisissa energiayksikköä kohden ovat alhaisemmat kuin pelkällä kivihiilellä. Sekamuovin pienestä PVC-määrästä johtuva suolahappopäästö on ympäristön kannalta vähemmän haitallista kuin kivihiilestä johtuva rikkihappopäästö. Muovien määrä ja klooripitoisuus eivät vaikuttaneet polykloorattujen dioksiinien ja furaanin päästöihin, ja kaikissa tapauksissa päästöt jäivät suunnitteilla olevien EY-normien alapuolelle. Tämän katsotaan johtuvan kivihiilen sisältämän rikin ehkäisevästä vaikutuksesta dioksiinien muodostumisreaktioissa. Poltoissa syntyneestä tuhkasta ei testeissä liennut vaarallisia aineita. /2/

Yhdysvalloissa pyritään kierrättämään jopa 25 % muovista. Tällöin neljännes kiinteistä jätteistä tulee hyödyntää sekä vähintään neljänneksen uudesta kulutuksesta on oltava kierrätysmateriaalia. Johtavia osavaltioita kierrätyksessä ovat Kalifornia, Oregon ja Massachussets. PET eli polyeteenitereftalaatti on kierrätysmuoveissa edelläkävijämateriaali. "Kierrätä tai kuole" -iskulause on siellä lähes kaikkien pakkausmateriaaliyritysten ohjenuorana. /3/

Rakentamisessa käytetään kyllästetyn puun sijaan sekamuovista valmistettua "ekolankkua". Tällöin koko lattia voidaan valmistaa muovilankuista puun säästämiseksi. Raaka-aineena käytetyn muovin koostumukselle on olemassa tietyt raja-arvot: PVC-pitoisuuden on oltava alle 5 %. Lasikuitulujitteen, kytKentä- ja täyteaineiden avulla ominaisuudet säädetään rakennuspuustandardin mukaisiksi ja näin saadaan kilpailukykyinen rakennusmateriaali. /3/

## 5.2 MUOVIEN KIERRÄTETTÄVYYS

Suurin este kierrätykselle on materiaalin likaisuus ja se, että se on hankalasti kerättävissä. Hankalin vaihe kierrätyksessä onkin yleisesti ottaen materiaalin keräys ja siistaus. Kierrätystä hankaloittavat:

- tuotteiden kasvava monimutkaisuus ja -komposiittisuus
- komposiittimateriaalien lisääminen ja
- lisääntynyt minituriointi.

Materiaalin erittely on toinen tärkeä seikka. Monien laatujen takia erittely on hankalaa ja kallista.

Ollakseen taloudellisesti kannattavaa:

1. kierrätyksessä tulee olla jatkuva ja loppumaton saanti
2. kierrätyksen tulee olla halvempaa kuin täysin uuden tuotteen tekeminen
3. uudelleenprosessointitekniikkaa on kehitettävä
4. tuotteille tulee olla suuret markkinat.

Tämänhetkisiä muovijätteen tuhoamiskeinoja ovat polttaminen, hydrokrakkaus, hydrolyysi ja alkoholyysi sekä maahanpano. Muovin uudelleenkäyttö ei ole tuhoamista.



## 6 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 6.1 ESIVALMISTELUT

Alunperin päätettiin valmistaa noin 150 koelevyä. Jotta koelevyjä saataisiin riittävä määrä kutakin tutkittavaa ominaisuutta kohden, päätettiin niitä valmistaa 12 kappaletta jokaista muoviosuutta tai keskilastua kohden. Tällöin tutkimukseen tuli riittävästi materiaalia tilastollista tarkastelua varten. /12/

Kokeet suoritettiin Schauman Wood Oy:n Puhoksen tehtaan laboratoriossa Puhoksessa. Kokeita tehtiin kaksi sarjaa, A-sarja ja B-sarja. A-sarjassa tutkittiin levyjen ominaisuuksia muovipitoisuuden vaihdellessa. A-sarja koestettiin valmiiksi ennen B-sarjan aloittamista. Paras mahdollinen muovipitoisuus otettiin B-sarjan muovipitoisuudeksi ja testattiin sillä erilaisten keskilastumateriaalien vaikutusta levyjen ominaisuuksiin. Parhaaksi mahdolliseksi muovipitoisuudeksi valittiin pienin muovipitoisuus, jolla levy saavutti vaadittavat lujuus- ja turpoama-arvot. B-sarjan keskilastuina käytettiin tavallista keskilastua, pintalastua, pölyä, Bauer-kuitua ja strandia. A-sarjan keskilastuna käytettiin tavallista keskilastua.

Muovi oli tavallista teollisuusjätepolyeteeniä. Kokeet suoritettiin 200 °C:lla puristimella puristusajan minimoimiseksi. Nopean puristuksen takia muovin piti olla niin hienoa kuin mahdollista, jotta se ehti sulaa kokonaan puristusaikana. Suurijakeinen muovi jauhettiin kahteen kertaan 0,4 mm:n asetteella.

Muovijätettä oli säilytetty ulkona, joten se oli märkää. Muovi kuivattiin ennen kokeiden aloittamista. Muovi ei juuri sido itseensä vettä, mutta veden haihduttamiseen varsinaisessa puristuksessa kuluu paljon energiaa. 10-15 cm:n muovikerroksen annettiin olla kuivaajassa kaksi tuntia.

Keskilastua otettiin linjalta kerralla koko A-sarjaan tarvittava määrä muuttujen vähentämiseksi. Lastuerä otettiin juuri ennen liimoitusta. Keskilastuerää seulottaessa saatiin eri tulokset riippuen siitä oliko seulonta suoritettu pussin päältä vai pussin pohjalta. Keskilastun muutokset eivät vaikuttane merkittävästi tutkimustuloksiin. Pintalastu haettiin valmiiksi liimoitettuna tuotantolinjalta. Taulukossa 7 on esitetty muovin, keskilastun (A- ja B-sarja) sekä B-sarjan keskilastuna käytetyn pintalastun seulontatulokset.

Taulukko 7. Seulontatulokset prosentteina

| Seulan koko | Muovi<br>% | Kl (A-sarja),<br>% | Kl (B-sarja)<br>% | Pl (B-sarja)<br>% |
|-------------|------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 5.60        | 0.0        | 2.7                | 4.4               | 0.0               |
| 2.38        | 10.3       | 28.3               | 29.0              | 0.2               |
| 1.00        | 51.6       | 43.1               | 43.2              | 10.6              |
| 0.71        | 19.8       | 13.1               | 13.6              | 22.1              |
| 0.42        | 14.2       | 9.5                | 7.0               | 33.5              |
| 0.21        | 3.4        | 2.4                | 1.9               | 19.3              |
| läpi        | 0.7        | 0.8                | 0.8               | 14.2              |

Pöly oli yhdistettyä hionta- ja tuotantopölyä. Bauer-kuitu kuidutettiin linjan keskilastusta. Strand oli tuotu aikaisemmin Saksasta. Strandiin käytetty puu oli leppä.

Keskikerroksen raaka-aineita, muovia ja kulloistakin keskilastua, sekoitettiin Enwe-liimoittimella 2 min. Raaka-aineet jokaista levysarjaa varten sekoitettiin valmiiksi ennen kulloisenkin levysarjan valmistamista ajan säästämiseksi ja muuttujien vähentämiseksi.

## 6.2 LEVYJEN VALMISTAMINEN

Levy koottiin koontapöydällä käsin muotin (30 cm \* 35 cm) mukaan. Eri kerrosten välissä kakkua puristettiin hajoamisen estämiseksi.

Valmis aihiolevy puristettiin Burkle-yksivälipuristimella kahden lämpöä johtavan metallilevyn välissä kunnes levyn sisälämpötila nousi 120 °C:een. Puristimen lämpötila oli 200 °C. Puristus suoritettiin A-sarjaa tehtäessä lämpömittaria käyttäen. Sisälämpötila mitattiin mittarilla, jonka anturi oli niin pitkä, että se ylsi levyn keskelle. Puristusajat otettiin talteen, jotta B-sarjaa tehtäessä voitaisiin eliminoida yksi muuttuja, puristusajan vaihtelu. A-sarjan puristusajat on esitetty liitteessä 1. Kuumapuristuksen aikana muovi sulii ja ympäröi puuaineen.

Tämän jälkeen levyä kylmäpuristettiin siten, että sen kummallakin puolella oli lastulevy lämmönsiirron estämiseksi ja kaksi kylmää metallilevyä levyn jäädyttämiseksi. Lämpötilan annettiin laskea sataan asteeseen ennenkuin levy otettiin pois puristimesta. Tänä aikana PE-muovi jäähtyi ja kovettui. Levyn muodostus tapahtui siis vasta jäähtymisvaiheessa, eikä puristusvaiheessa, kuten lastulevyllä.



Puristusmuovaus on vanhin ja yleisin menetelmä kertamuovituotteiden valmistuksessa. /18/ Puristuksessa on tärkeää, että kaikki muovi sulaa. Valmiiksi lämmitetty muovi sulaa nopeammin.

Valmiiden levyjen reunat sahattiin tasaisiksi, levyt hiottiin ja hionnan jälkeen paloiteltiin. A-sarjaa koestettaessa voitiin havaita selviä eroja levyjen tiheyksissä. Tästä syystä B-sarjan levyt punnittiin ennen hiomista ja sen jälkeen hiontahäviön selvittämiseksi. Hiontahäviötaulukot B-sarjalle on esitetty liitteessä 2. Koestuspalaset tasaannutettiin ennen koestusta standardin SFS 3516 /20/ mukaisesti.

Koesarja A:n tarkoituksena oli etsiä paras mahdollinen muoviosuus, jolla B-sarja, eli keskilastujen tutkiminen, suoritettaisiin. Suurin muutos tapahtui siirryttäessä muoviosuudesta 10 % muoviosuuteen 20 %; edellinen levy oli hyvin heikkolaatuista, seuraava jo huomattavasti parempi. Toinen muutos oli muovipitoisuuksien 30 % ja 40 % välillä. Muovipitoisuus 40 % oli pienin pitoisuus, joka täytti edes osittain tavalliselle lastulevyille määrätyt standardit, joten se valittiin jatkotutkimuksien pitoisuudeksi. Muovipitoisuus 40 % täytti A-luokan lastulevystandardiarvoista vain poikittaisvetolujuudelle ja pituusturpoamalle määrätyt arvot. Nämä olivat kuitenkin tärkeimmät tutkittavat ominaisuudet. Lisäksi arveltiin, että nostamalla levyn tiheys halutulle tasolle sen arvot paranisivat. Suuremmatkaan muovipitoisuudet eivät täyttäneet taivutuslujuusstandardiarvoja.

## **6.3 KOESUUNNITELMA**

### **6.3.1 Vakiot**

Muovipitoisuus keskilastussa vaihteli välillä 10 - 70 % 10 %:n välein eli pitoisuuksia olivat 10, 20, 30, 40, 50, 60 ja 70 %.

Lastun koko vaihteli siten, että kokoja olivat: keskilastu, pintalastu, Bauer-kuitu, hiomapöly ja strand.

Vakioina pysyvät:

|                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| puristimen lämpötila | $T = 200\text{ °C}$               |
| paine                | $p = 30\text{ kg/cm}^2$           |
| levyn paksuus        | $d = 12\text{ mm}$                |
| pintalastu           | linjalta liimattuna               |
| pintalastun osuus    | 30 % (15 % puoleensa) painosta    |
| koelevyn koko        | $A = 30\text{ cm} * 35\text{ cm}$ |
| kuumennuslämpötila   | $t_1 = 120\text{ °C}$             |
| kylmennyslämpötila   | $t_2 = 100\text{ °C}$             |
| levyn tiheys         | $\rho = 800\text{ kg/m}^3$        |
| levysarjan koko      | $N = 12\text{ kpl}$               |

Levyjä valmistettiin kaksi sarjaa. A-sarjassa tutkittiin muovipitoisuuden vaikutusta levyjen ominaisuuksiin. B-sarjassa tutkittiin keskilastun merkitystä. Kokeet jaettiin A- ja B-osaan lähinnä kokeiden lukumäärän minimoimiseksi.

Toista puristusta eli B-osaa varten vakioitiin kuuma- ja kylmäpuristuksien kestoajat. Levyä kuumapuristettiin 2 min 30 s ja kylmäpuristettiin 4 minuuttia.

### 6.3.2 Raaka-aineet

Taulukossa 8 on laskettu tarvittavat raaka-ainemäärät A-osan valmistukseen.

Taulukko 8. Raaka-ainemäärät A-osaa varten

| Muovin osuus<br>keskilastusta<br>% | Pl<br>kg | Kl<br>kg | Muovi<br>kg | Yhteensä<br>kg |
|------------------------------------|----------|----------|-------------|----------------|
| 10                                 | 0,3024   | 0,63504  | 0,07056     | 1,008          |
| 20                                 | 0,3024   | 0,56448  | 0,14112     | 1,008          |
| 30                                 | 0,3024   | 0,49392  | 0,21168     | 1,008          |
| 40                                 | 0,3024   | 0,42336  | 0,28224     | 1,008          |
| 50                                 | 0,3024   | 0,3528   | 0,3528      | 1,008          |
| 60                                 | 0,3024   | 0,28224  | 0,42336     | 1,008          |
| 70                                 | 0,3024   | 0,21168  | 0,49392     | 1,008          |
| Yhteensä                           | 2,1168   | 2,96352  | 1,97568     | 7,056          |
| 12:lle levyille                    | 25,4016  | 35,56224 | 23,70816    | 84,672         |

Raaka-aineita tarvittiin yhtä koelevyä kohden yhteensä 1,008 kg. Laskujen helpottamiseksi on muoviosuus laskettu keskilastuista. Taulukossa 9 on laskettu koko levyn muovipitoisuus, kun keskilastun muovipitoisuus on 10..70 %.

Taulukko 9. Todelliset muovimäärät levyä kohden

| Muovin määrä |         |         |
|--------------|---------|---------|
| Kl:ssa       | Levyssä |         |
| %            | %       | kg      |
| 10           | 7       | 0,07056 |
| 20           | 14      | 0,14112 |
| 30           | 21      | 0,21168 |
| 40           | 28      | 0,28224 |
| 50           | 35      | 0,3528  |
| 60           | 42      | 0,42336 |
| 70           | 49      | 0,49392 |

A-sarjan tiheys jäi haluttua pienemmäksi. Syynä tähän oli hiontahäviö ja se, että keskilastua valui esipuristuksesta huolimatta reunoilta ulos varsinaisen puristuksen aikana. Tiheyshäviö muoviosuudella 40 % oli noin 8 % alkuperäisestä painosta. Tästä syystä lisättiin B-sarjaa tehtäessä keskiosaan 8 %:a levyn painosta enemmän muovin ja keskilastun seosta. Uudet määrät on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Raaka-ainemäärät B-osaa varten

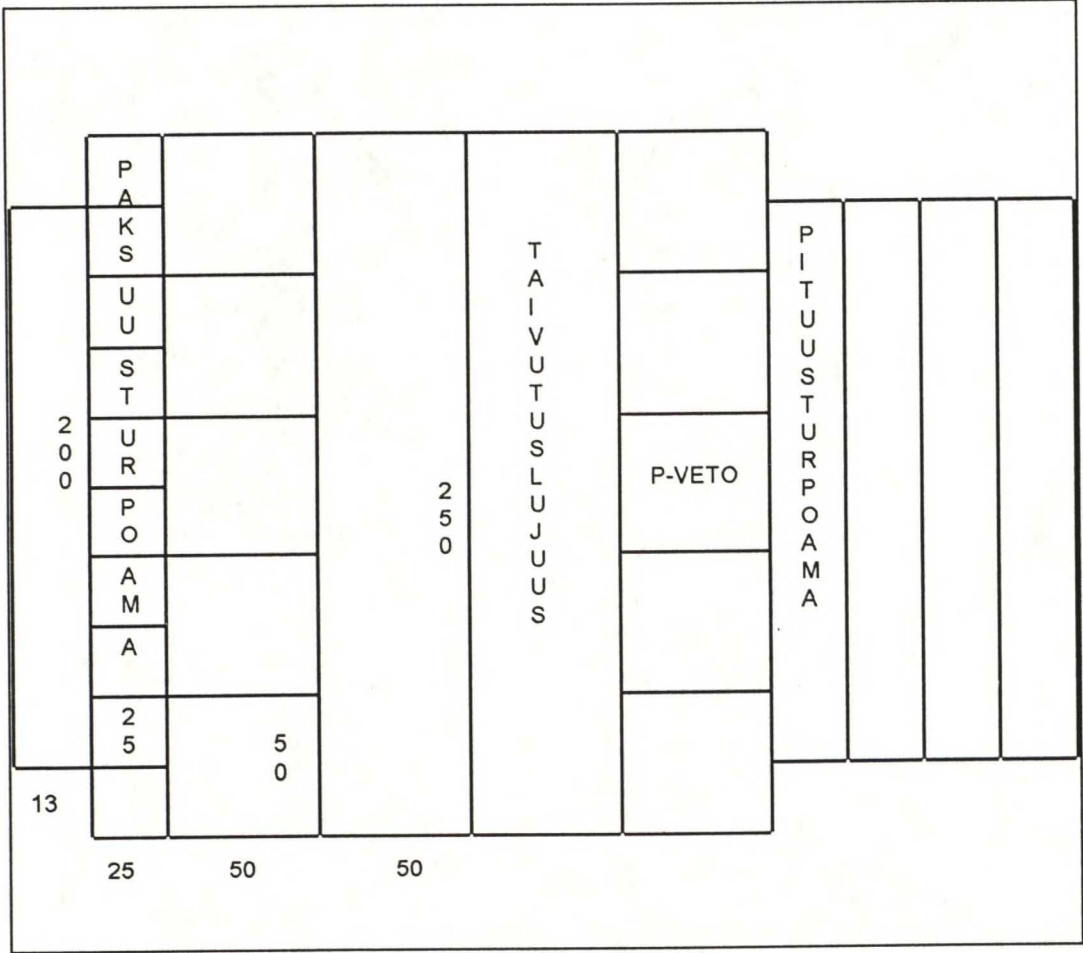
| Muovin osuus keskilastusta | Pintalastu | Keskilastu | Muovi | Yhteensä |
|----------------------------|------------|------------|-------|----------|
| %                          | kg         | kg         | kg    | kg       |
| 40                         | 0,302      | 0,315      | 0,472 | 1,089    |
| Yhteensä 12:a levyä kohti  | 3,629      | 3,774      | 5,661 | 13,064   |

Strand-levyä tehtäessä ei pintaan levitetty liimattu pintalastu riittänyt. Kaikkiin kuuteen levyyn laitettiin kaksinkertainen määrä pintalastua toiselle puolelle. Strand-levy on siitä syystä painavampaa, joskaan ei merkittävästi tiheämpää, kuin muut levyt.



### 6.4 KOESTUSKAPPALEET

Standardiin SFS 3516 kuuluu kokeiden suoritustapojen lisäksi niiden tilastollinen käsittely. Jokaisesta koekappaleesta otettiin useita testauskappaleita. Testauskappaleet otettiin kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Koekappaleiden paloittelu

Tällöin taivutuslujuus tutkittiin kahdesta, paksuusturpoama kymmenestä ja poikittaisvetolujuus ja pituusturpoama viidestä rinnakkaiskappaleesta.

Kaikista kahdestatoista koelevystä (kuudesta strand-levystä) laskettiin rinnakkaskappaleiden tutkittujen ominaisuuksien aritmeettisten keskiarvojen lisäksi myös otosvarianssi ( $S$ ) kaavan 3 mukaan. Lisäksi laskettiin minimi- ja maksimiarvo sekä niiden vaihteluväli ( $R$ ) /13/.

$$S = \frac{1}{N} \times \sum_1^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

jossa  $N$  on koekappaleiden lukumäärä,  $X_i$  yksittäisen koekappaleen mitattu arvo ja  $\bar{X}$  niiden keskiarvo.

Kokeet suoritettiin standardin SFS 3516 mukaisesti. Kutakin levytyyppiä oli kaksitoista kappaletta, joista jokaisesta otettiin yhtäläinen määrä koekappaleita.

## 6.5 TILASTOLLINEN TESTAUS

Kokeiden tarkoituksena oli optimoida muovipitoisuus ja keskilastu eli löytää paras mahdollinen muovipitoisuus/keskilastu-yhdistelmä. Ajan puutteen vuoksi päätettiin valmistettavien levyjen määrä jättää noin 150:een levyyn. Kaikkien levy-yhdistelmien tekeminen olisi ollut tilastollisesti epäluotettavaa, joten parhaaksi mahdollisuudeksi katsottiin valmistaa kaksi sarjaa. Tulokset on käsitelty tilastollisesti sekä matemaattisesti että graafisesti. Matemaattinen käsittely vaatii useita oletuksia ja merkitsemisiä.

Ensimmäiseksi oletettiin, että otoshajonnat  $S^2_A$  ja  $S^2_B$  ja tunnetaan. Myöhemmin arvot laskettiin varianssianalyysin ja graafisen esityksen yhteydessä. Lisäksi oletettiin, että populaatiojakauma  $\sigma^2_A \neq$  populaatiojakauma  $\sigma^2_B$ . Näiden oletusten jälkeen voitiin edetä normaalin t-jakaumatutkimuksen mukaisesti seitsemällä askeleella. Diamondin /8./ mukaan askeleet ovat seuraavia:

A. Annetaan alkuoletamus

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

B. Määritetään  $\alpha$  ja mahdollisesti  $\beta$       $\alpha$  selvitettiin saatujen tietojen pohjalta

C. Selvitetään otoskoko      $N = 12$

D. Lasketaan otoskeskiarvot

$$\bar{X}_A = \frac{\sum X_{Ai}}{N}$$

$$\bar{X}_B = \frac{\sum X_{Bi}}{N}$$

ja niiden erotus

$$|\bar{X}_B - \bar{X}_A|$$

E. Lasketaan otosvarianssit

kaava (3)

F. Lasketaan vertailusuure

$$|\bar{X}_B - \bar{X}_A|_* = t_{\alpha} \sqrt{\frac{S_B^2}{N_B} + \frac{S_A^2}{N_A}}$$

G. Verrataan tuloksia.

Esimerkkitulokset muoviosuuksien vertailuista on esitetty liitteessä 5 ja keskilastujen vertailuista liitteessä 6. Liitteissä on varianssianalyysi,  $t_{\alpha}$ :n määrittäminen ja varsinaisen t-jakaumavertailusuureen ja otoskeskiarvojen erotuksen välinen vertailu. Koska tuloksia on paljon, on liitteisiin otettu analyyseistä vain esimerkit. Jokaista tulosta on verrattu seuraavaan, eli tuloksia on esimerkiksi väleiltä muoviosuudesta 10 % muoviosuuteen 20 % tai keskilastusta pintalastu keskilastuun pöly. Luottamusvälit ovat ominaisuuksien kesken samoja, eli kaikki A-sarjan taivutuslujuudet on tutkittu luottamusvälillä 95 % ja pituusturpoamat luottamusvälillä 99,5 %.

Alkuoletus kohdassa A on totta, mikäli otoskeskiarvojen eron itseisarvo on suurempi kuin vertailusuure. Mikäli otoskeskiarvojen ero on positiivinen, on tutkittavista suureista jälkimmäinen suurempi kuin edellinen. Tässä tapauksessa esim. suuremmalla muoviosuudella saadaan suurempi taivutuslujuus kuin pienemmällä. Mikäli erotus on negatiivinen, on tapaus päinvastainen.

Tilastollisella tutkimuksella saadaan tietää, kuinka paikkansapitäviä tulokset ovat. Tässä tutkimuksessa luottamusväli, eli tulosten oikeellisuus, on a-osassa yleensä välillä 95..99,5 % ja B-osassa 95 %. Tällöin tulokset ovat siis noin 95..99,5 %:sesti oikeita. 100 %:sta oikeellisuutta ei voida saavuttaa, mutta jo 95 %:n luottamusväliä pidetään luotettavana.



## 7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tehty tutkimus on osa Schaumann Wood Oy:n tuotekehitysprojektia. Tulosten on oltava nopeasti ymmärrettäviä ja selkeitä. Tilastollinen tutkimus osoittaa tulosten oikeellisuuden, mutta ei ole selkeydessä graafiseen esitykseen verrattavissa. Tässä luvussa on tuloksia käsitelty lähinnä graafisesti; pitkät lukusarjat on esitetty liitteinä. Tulokset ensimmäisestä koesarjasta on esitetty liitteessä 3. Tulokset toisesta koesarjasta on esitetty liitteessä 4. Tulokset jokaisesta yksittäisestä koelevystä annetaan erikseen levykkeellä. Liitteissä on kunkin koesarjan keskiarvot siten, että jokaisen yksittäisen levyn keskiarvo on jo laskettu. Tulokset ovat siis keskiarvojen keskiarvoja.

### 7.1 STANDARDIVERTAILUTAULUKOITA

Saatuja tuloksia on vertailtu kirjallisuuden standardiarvoihin. Taulukossa 11 on esitetty vakioastulevyjen standardoitujen lujuusominaisuuksien keskiarvojen vähimmäisarvot (SFS 3515). Standardiarvot on annettu levyille, joiden paksuus on alle 13 mm.

Taulukko 11. Ominaisuuksien standardiarvot /19/

| Ominaisuus           | Levyn laatu | Standardiarvo          |
|----------------------|-------------|------------------------|
| Poikittaisvetolujuus | A1,A        | 0,40 N/mm <sup>2</sup> |
|                      | B           | 0,30 N/mm <sup>2</sup> |
| Taivutuslujuus       | A1          | 20 N/mm <sup>2</sup>   |
|                      | A           | 16 N/mm <sup>2</sup>   |
|                      | B           | 14 N/mm <sup>2</sup>   |
| Pituusturpoama       |             | 0,35 %                 |
| Paksuusturpoama      | V-313       | 8 %                    |

Viime vuosina on korostettu formaldehydipitoisuuden pienentämiseen tähtääviä toimenpiteitä ja pitoisuuden testaamista. Tavallisessa lastulevyssä on formaldehydiä alle 25 mg sataa lastulevygrammaa kohden, ja E1-luokitelluissa lastulevyissä formaldehydiä on alle 10 mg/100 g lastulevyä. Tutkituissa muovilevyissä ei ole ollenkaan

formaldehydiä keskikerroksessa. Muovilevyn formaldehydipitoisuus on pintalastun osuus tavallisen lastulevyn pitoisuudesta eli tässä tapauksessa noin 30 % levyn painosta. Tällöin pitoisuus olisi 7,5 mg / 100 levygrammaa.

Taulukossa 12 on selvitetty vakiolastulevyjen /19/ sekä kosteutta kestävien V313-lastulevyjen /21/ sallitut toleranssit.

Taulukko 12. Sallitut toleranssit /19 ja 21/

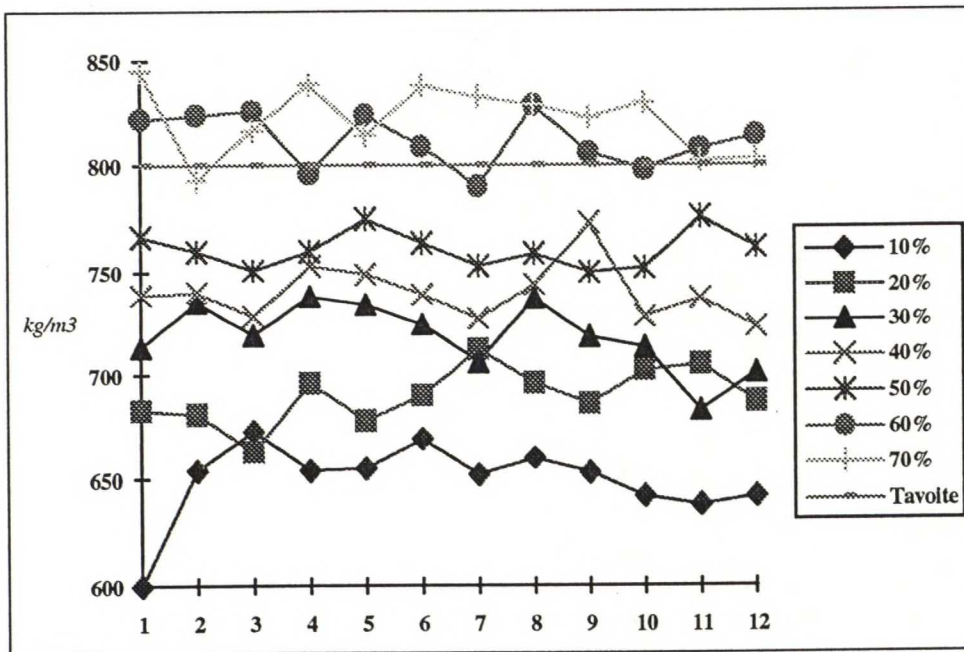
| Ominaisuus / mitta          | Laadut          | Toleranssi ± |
|-----------------------------|-----------------|--------------|
| Paksuus, mm                 | A1- ja A-laadut | 0,3          |
|                             | B-laatu         | 0,5          |
|                             | V313-laatu      | 0,3          |
| Pituus, mm                  | kaikki laadut   | 3            |
| Leveys, mm                  | kaikki laadut   | 2            |
| Suorakulmaisuus, mm/1000 mm | kaikki laadut   | 2            |
| Reunan suoruus, mm/1000 mm  | kaikki laadut   | 1            |
| Kosteus, %                  | kaikki laadut   | 9 ± 3        |

Työn graafiset esitykset ja liitteiden matemaattisesti käsitellyt luvut antavat samat tulokset. Graafiset esitykset selvittävät saavutettuja johtopäätöksiä ja niiden syitä selvemmin mutta epätarkemmin kuin tilastolliset liitteet. Työn tilastollisuuden testaamiseksi oli kuitenkin tarpeellista suorittaa tilastolliset laskutoimitukset.

## 7.2 LEVYJEN TIHEYS

### 7.2.1 A-osan tiheys

Kuvassa 4 on esitetty A-sarjan levyjen tiheyksien vaihtelu koelevyittäin. Kuvaan on lisätty tavoiteltu tiheys  $800 \text{ kg/m}^3$ . Jokainen kaavion piste edustaa kustakin levystä otettujen kahden mittaustuloksen keskiarvoa. Mittaustuloksia on kahdestatoista koelevystä. Kuvan x-akselilla on levyn numero siten, että nro 1 valmistettiin kyseisestä koesarjasta ensimmäisenä ja nro 12 viimeisenä. Y-akselilla on tiheys. Kaaviosta näkyy selvästi koesarjojen vaihtelut.



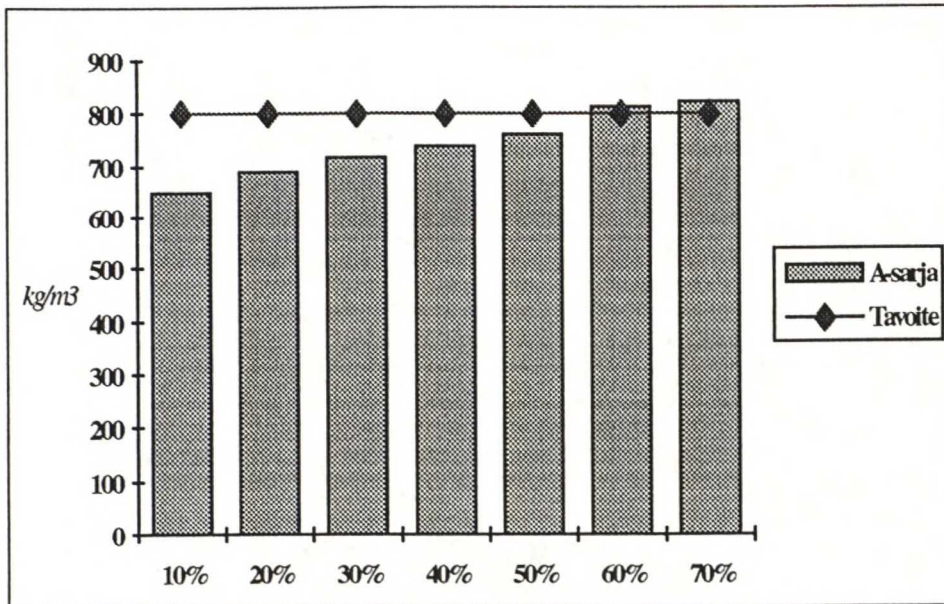
Kuva 4. A-levyjen tiheydet

Tiheydet kasvavat muoviosuuden kasvaessa. Hajonnat olivat kaikilla muoviosuuksilla noin kaksi prosenttia tiheyksien keskiarvosta. Tätä voidaan pitää erittäin luotettavana tuloksena. Vain kaksi muoviosuutta, 60 % ja 70 %, ylittivät tavoitetiheyden  $800 \text{ kg/m}^3$ . Muut muoviosuudet jäivät kaikista koelevyistään tavoitetiheyden alapuolelle.

On huomattava, että kuvan 4 x-akseli ei ole verrannaisuuksia. Eri muovipitoisuuksilla ei ole muuta yhteistä kuin valmistusjärjestys, joten tuloksia ei voi verrata siten keskenään.



Kuvassa 5 on esitetty levytyyppien keskiarvot pylväsdiagrammina. Pylväät esittävät edellisen kuvion suorien keskiarvoja. Kuva 5 esittää selkeämmin muoviosuuden vaihtelun vaikutusta tiheyteen. Kuva 4 selvittää yksittäisten levyjen välisiä vaihteluja.



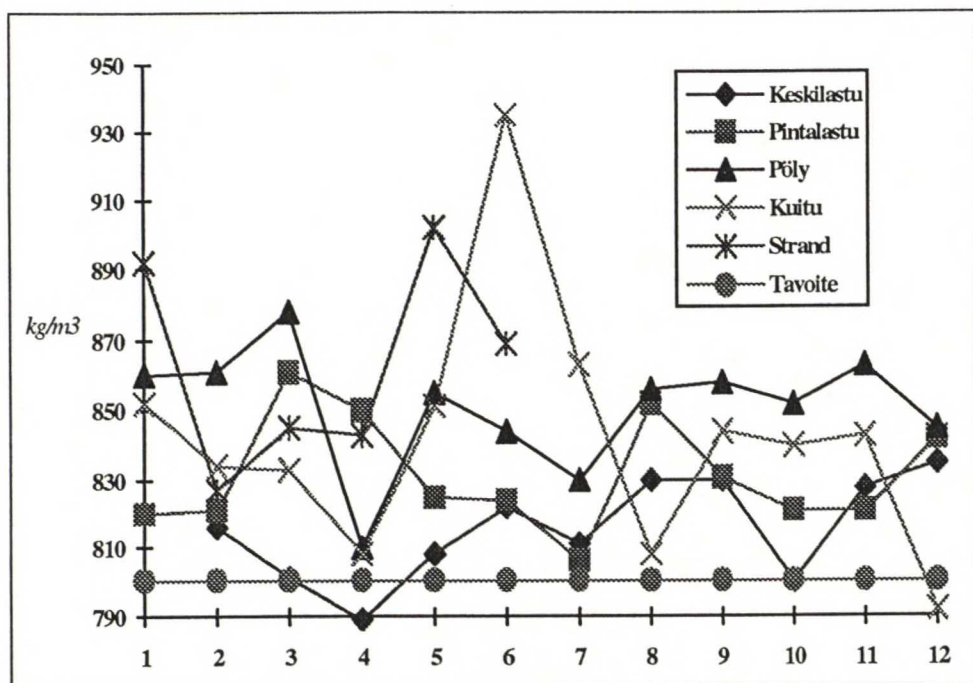
Kuva 5. Muoviosuuden vaikutus tiheyteen

Tiheydet kasvavat selvästi muoviosuuksien kasvaessa. Syy tähän on todennäköisesti hiontahäviö. Muoviosuuden kasvaessa valmiit, puristetut levyt ohenevat selvästi. Tämä saattoi johtua siitä, että raaka-ainetta, varsinkin keskilastun ja muovin sekoitetta, valui puristuksessa pois välistä. Muoviosuuden kasvaessa myös sulanut ja pois valunut osuus kasvoi. Muoviosuuden 20 % ylittäneet levyt olivat huomattomina paksuudeltaan tavoitepaksuutta 12 mm ohuempia. Tämä siitäkin huolimatta, että puristuksessa käytettiin 12 mm:n välipaloja. Pienempiä muoviosuuksia sisältäneet levyt olivat paksumpia, joten niitä voitiin hioa enemmän.

Levyt käpristyivät ja kaartuivat kun niiden muoviosuus ylitti 50 %. Muoviosuudella 70 % levyt taipuivat lieväksi kouruksi, jolloin hiominen hankaloitui. Levyjen tasoittaminen lisäsi hiontamääriä.

### 7.2.2 B-osan tiheys

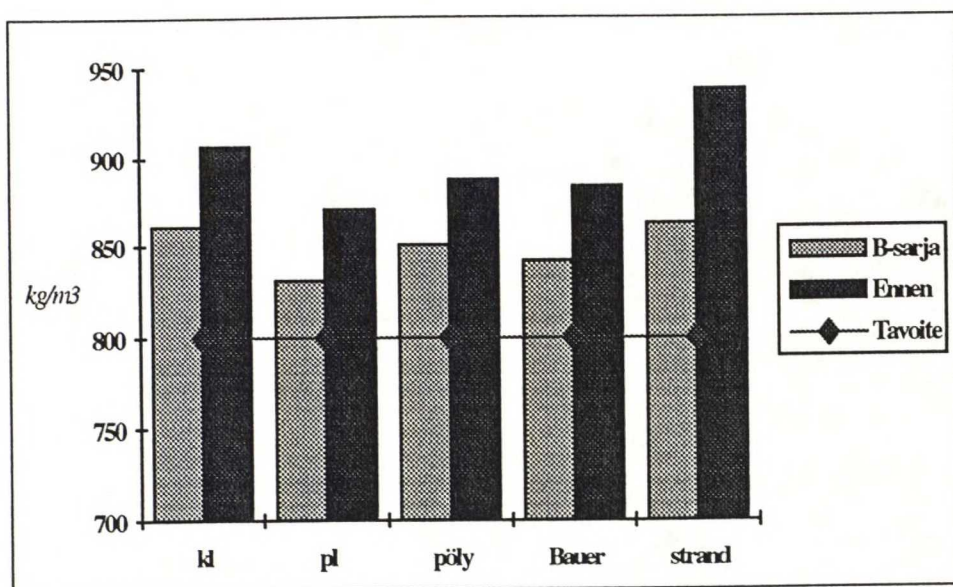
B-osassa tutkittiin keskilastun vaikutusta levyihin. Kuvassa 6 on esitetty erilaisilla keskilastuilla saadut tiheykset levyittäin. Kuvaan on lisätty haettu tiheys.



Kuva 6. B-levyjien tiheydet

Keskilastun ensimmäisen levyn huomattavasti suurempi tiheys,  $1359 \text{ kg/m}^3$  saattaa johtua siitä, että se ehti tasaantua pitempään kuin muut levyt. Levy valmistettiin aikaisemmin, jotta voitaisiin testata antaako 8 %:n keskilastun lisäys oikeamman tiheyden kuin A-sarjan raaka-ainemäärät. Ennen tasaannutusta heti hionnan ja paloittelun jälkeen laskettu levyn tiheys oli  $805 \text{ kg/m}^3$ . Tiheyden lisääminen kuvioon muuttaa muiden keskilastujen aiheuttamat tiheyden vaihtelut hyvin pieniksi, joten se on poistettu kuviosta. Tiheyden vaihtelut ovat selvästi alle viiden prosentin luokkaa tiheydestä ilman ensimmäistä keskilastulevyä. Tulokset ovat luotettavia. Jopa keskilastun luotettavuus (noin 17 % tiheydestä) on kohtalainen. Kuitulevyn tiheyden vaihtelut olivat suurimpia, pölyn pienimpiä.

Kuvassa 7 on esitetty erilaisten keskilastujen vaikutus tiheyteen. Pylväät, joissa on nimike *ennen*, esittävät levyjen tiheyksiä ennen hiontaa.



Kuva 7. Keskilastun vaikutus tiheyteen

Suurin tiheys oli strand-levyllä ja pienin pintalastu-levyllä. Strand-levyn tiheydet vaihtelivat sen mukaan, oliko tutkittuun levyyn tullut riittävä määrä muovia vai ei. Varsinaisesti voidaan sanoa, että keskilastulevy oli tiheintä, sillä strand-levyssä oli puolitoistakertainen määrä pintalastua muihin levyihin verrattuna. Pöly oli silminnähdenkin huokoisempaa kuin muut levyt.

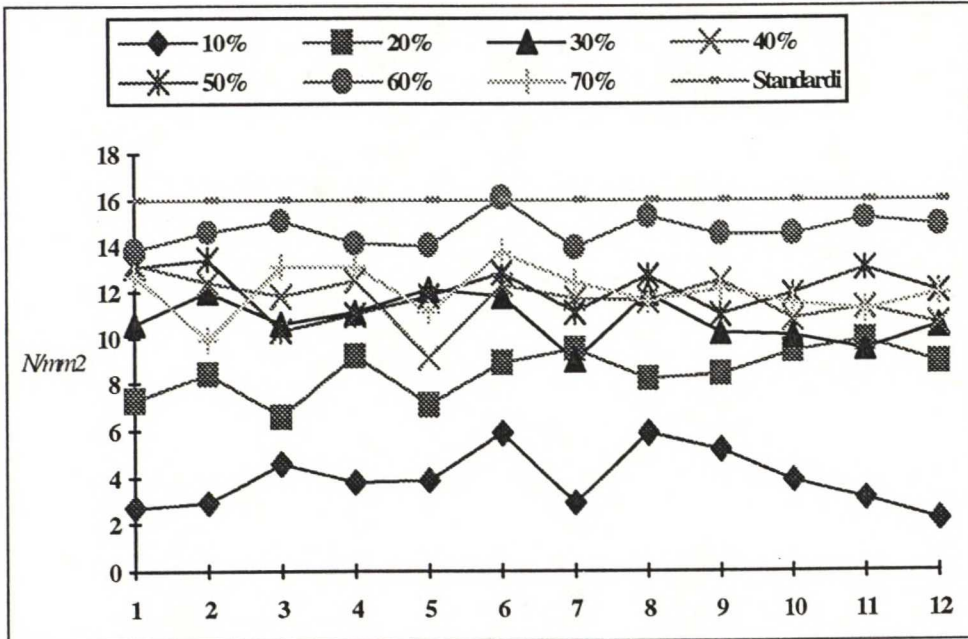
Hiontahäviö ei keskilastun vaihdellessa antanut selviä tuloksia. Muoviosuuden vaihdellessa pois valunut keskilastun määrä, heikon, pois sahattavan reunan osuus ja hionnan vaikutus muuttui selvästi muoviosuudesta toiseen. Muoviosuus pysyi kuitenkin vakiona B-sarjaa valmistettaessa. Strand-levyjä voitiin hioa selvästi enemmän kuin muita levyjä, koska levyihin oli lisätty kaksinkertainen määrä pintalastua pintapuolelle.



## 7.3 LEVYJEN TAIVUTUSLUJUUDET

### 7.3.1 A-osan taivutuslujuus

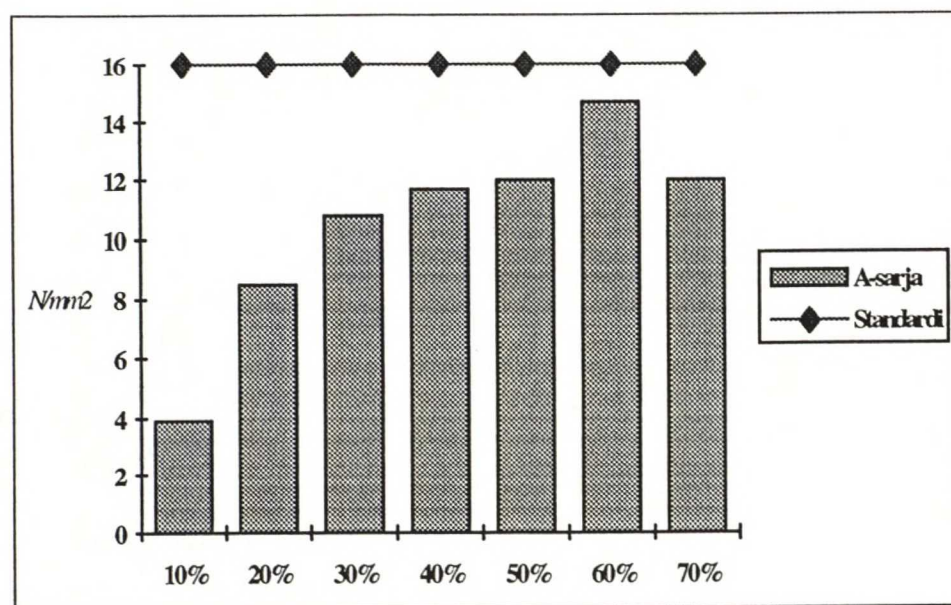
Kuvassa 8 on esitetty kahdentoista levyn taivutuslujuudet samassa järjestyksessä kuin tiheydetkin. Lisäksi kuvassa on vertailun vuoksi A-luokan lastulevyn standarditaivutuslujuus.



Kuva 8. A-levyjen taivutuslujuudet

Yhtä levyä lukuun ottamatta jokainen levy jäi vertailusuoran alapuolelle. Yksikään levy ei siis yltänyt lastulevystandardin tasolle. Taivutuslujuuksien hajonnat pienenevät selvästi muoviosuuden kasvaessa. Muoviosuudella 10 % se oli noin 30 % taivutuslujuudesta, suuremmilla muoviosuuksilla hajonta oli selvästi alle 10 % eli hyväksyttävällä alueella. Hajonnan ja taivutuslujuuden arvon välisen suhteen pieneneminen tarkoitti sitä, että levyt olivat sitä tasalaatuisempia, mitä enemmän niissä oli muovia. Suuntaus on sikäli ymmärrettävää, että muovi on materiaalina huomattavasti puuta homogeenisempaa.

Kuvassa 9 on selvitetty muoviosuuden vaihtelun vaikutusta taivutuslujuuteen. Kuvaan on lisätty standardiarvo A-luokan lastulevyille.



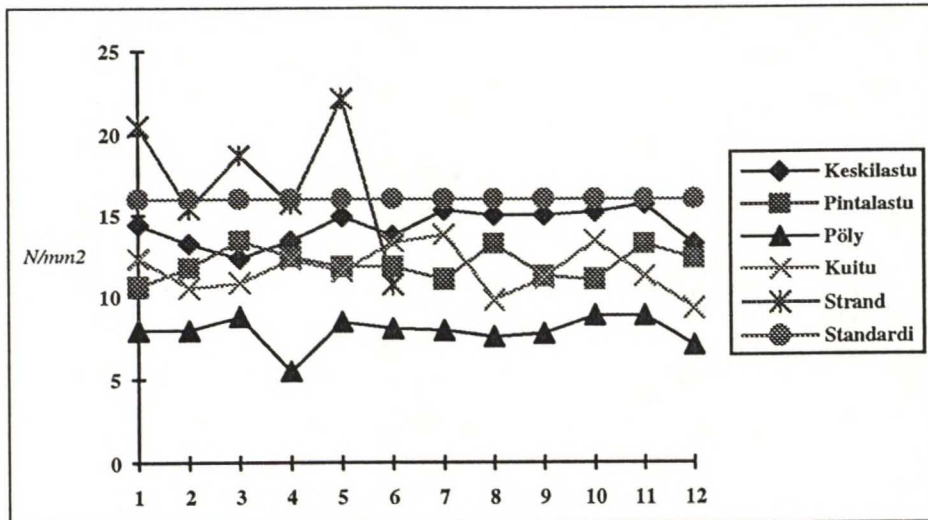
Kuva 9. Muoviosuuden vaikutus taivutuslujuuteen

Taivutuslujuus kasvaa tiheyden ja samalla muovipitoisuuden kasvaessa. Muovipitoisuuden ollessa vähäinen liima-ainetta ei ole riittävästi. Muovipitoisuuden kasvaessa levyn elastisuus lisääntyy ja venymä kasvaa. Taivutuslujuus ei varmaankaan enää paranisi, vaikka muovipitoisuutta nostettaisiinkin. Kuviossa esiintyvä taivutuslujuuden lasku muoviosuuden kasvaessa 60 %:sta 70 %:iin saattaa olla tilastollinen virhe. Toisaalta taivutuslujuuskappaleet venyivät selvästi enemmän isommilla muovipitoisuuksilla kuin pienillä. Venymä kasvoi noin 3 mm:stä (10 %:n muovipitoisuuden omaavilla levyillä) yli kymmeneen millimetriin (70 %:n levyt). Osa 70 % -kappaleista ylitti jopa koestuslaitteen venymärajan 20 mm. Murtokohta tulee epäselväksi muovipitoisuuden kasvaessa, kun levyistä tulee muovimaisen elastisia jäykän puulevyn sijaan.

Taivutuslujuuden kasvu eri muoviosuuksien välillä on totta keskimäärin 95 %:n luottamusvälillä. Luotettavuus välillä 30 %..40 % on 90 % ja välillä 40 %..50 % vain 50 %.

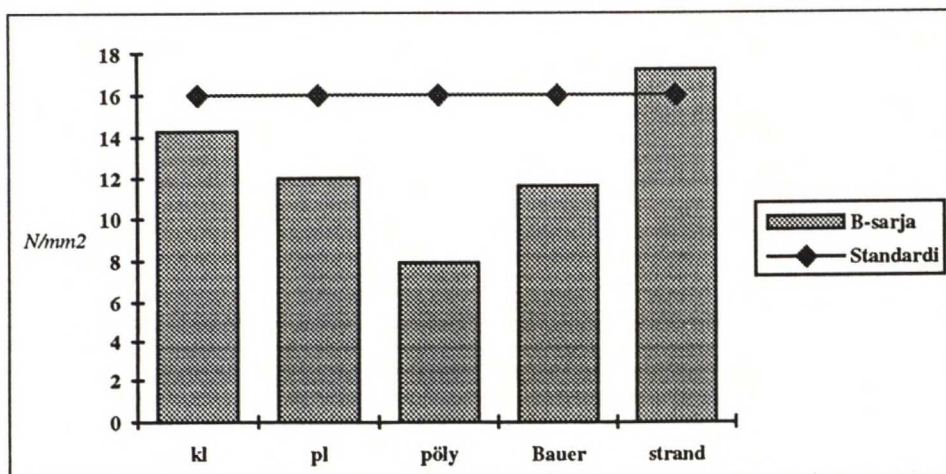
### 7.3.2 B-osan taivutuslujuus

Kuvassa 10 on esitetty B-osan levyjen taivutuslujuudet samassa järjestyksessä kuin tiheydetkin. Vertailukohteena on käytetty A-luokan lastulevyn standardiarvoa 16 N/mm<sup>2</sup>.



Kuva 10. B-levyjen taivutuslujuudet

Strand-levyä lukuun ottamatta yhdenkään levyn taivutuslujuus ei ylittänyt lastulevystandardia. Strand-levyn hajonnan ja taivutuslujuuden suhde oli noin 20 %, muuten levyjen hajonnat ovat sallitulla alueella. Keskilastun ja pintalastun luotettavuus on parempi kuin Bauer-kuidun tai pölyn. Pölylevyissä oli yksi poikkeava, muuten ne olivat hyvin samantyyppisiä. Kuvasta 11 näkyy keskilastun vaihtelun vaikutuksen taivutuslujuuteen. Kuvan standardisuora on A-luokan lastulevyille.



Kuva 11. Keskilastun vaikutus taivutuslujuuteen



Muovilevyt ovat elastisempia kuin tavalliset lastulevyt. Niiden venymä on suurempi ja taivutuslujuus vastaavasti pienempi. Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ei ole niin selvä kuin raaka-aineen eli vaihtelevan keskilastun. Hienojakoisin raaka-aine, pöly, oli selvästi heikointa. Pintalastu ja Bauer-kuitu olivat rakenteeltaan samantyyppisiä, mikä lienee syynä taivutuslujuusarvojen samankaltaisuuteen. Strand-levy oli taivutuslujuudeltaan parasta. Strand-levyn muita levyjä paremmat arvot johtuvat lastun muodosta. Pitkäkuitusena ja leveänä strand sallii suuremman kohtisuoran puristuksen kuin muut lastutyypit.

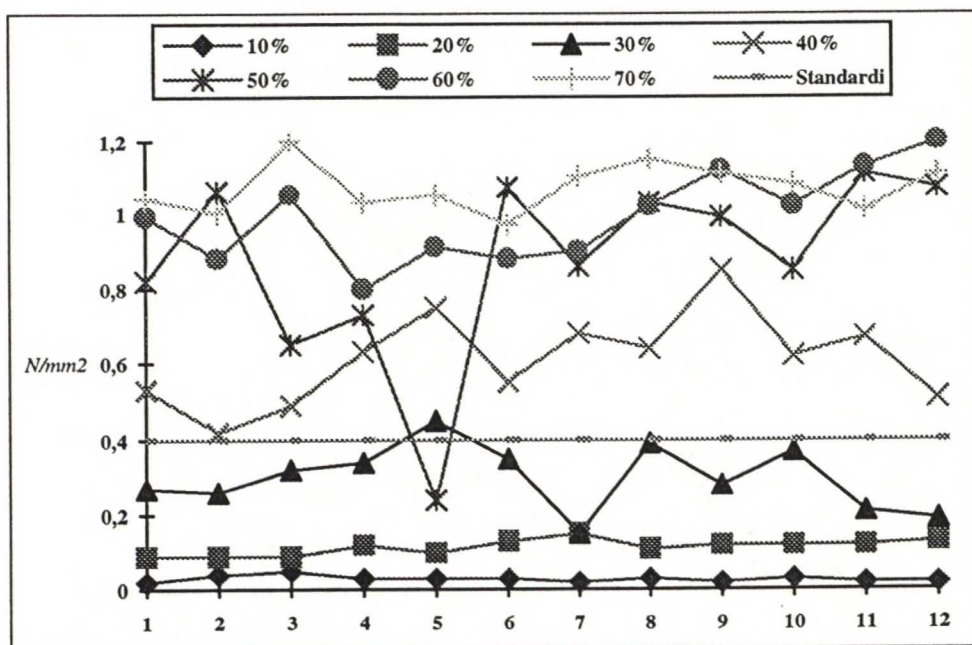
Keskilastua sisältävän levyn taivutuslujuus,  $14,15 \text{ N/mm}^2$ , oli parempi kuin A-sarjan vastaava tulos,  $11,65 \text{ N/mm}^2$ . Tämä johtui tiheyden muutoksesta. Se nousi  $740 \text{ kg/m}^3$ :stä  $860 \text{ kg/m}^3$ :een. Tiheyden vaikutusta levyjen ominaisuuksiin on tutkittu lähemmin luvussa 7.7.

Taivutuslujuus on keskilastulevyllä suurempi kuin pintalastulevyllä luotettavuuden ollessa 95 %. Pl-levyn taivutuslujuus on samalla luottamusvälillä suurempi kuin pölylevyn. Kuitulevyn taivutuslujuus on suurempi kuin pölylevyn ja pienempi kuin strand-levyn 95 %:n todennäköisyydellä.

## 7.4 LEVYJEN POIKITTAISETOLUJUUDET

### 7.4.1 A-osan poikittaisvetolujuus

Kuvassa 12 on esitetty levyjen poikittaisvetolujuudet levyittäin. Vertailukohteena on käytetty A1- ja A-luokan lastulevystandardia.



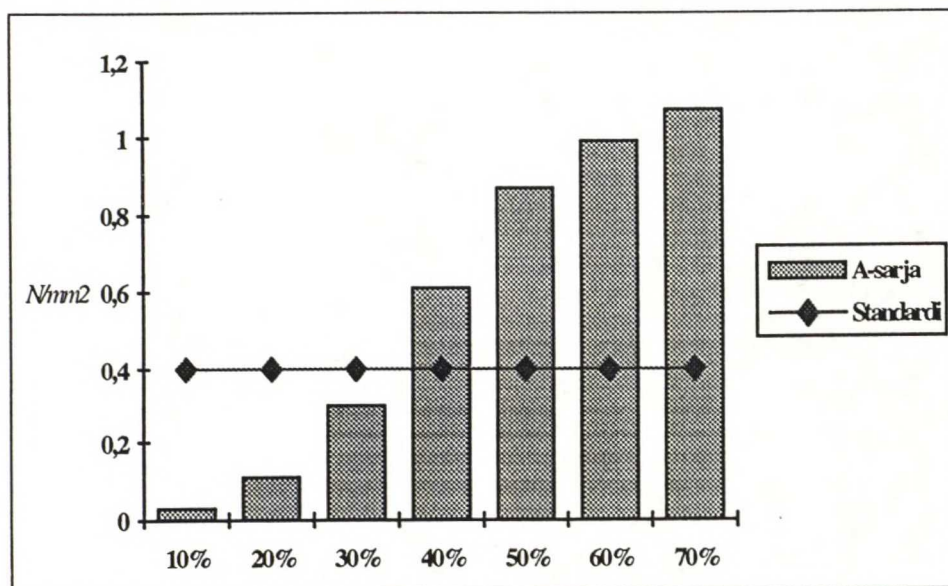
Kuva 12. A-levyjen poikittaisvetolujuudet

Poikittaisvetolujuuksien ja hajonnan välinen suhde pienenee muoviosuuden kasvaessa samalla tavoin kuin taivutuslujuuskappaleissakin. Tässä tapauksessa muoviosuuden 10 % yli 30 %:n suhde tarkoittaa huonoa tulosten luotettavuutta. Seuraavien muoviosuuksien, 20 %, 30 %, 40 % ja 50 %, hajontien ja poikittaisvetolujuuksien suhde on noin 20 %, eli ei täysin luotettava. Vasta viimeiset kaksi muoviosuutta, 60 % ja 70 %, ovat tilastollisesti luotettavia.

Syynä tähän lienee eräissä koestuskappaleissa olleiden reikien aiheuttamat poikkeamat. Reiät tulivat puristusvaiheessa liian pitkälle ja huonosti asetetusta lämpömittarista. Muovipitoisuuden ollessa tarpeeksi suuri ei reiällä ole merkitystä, koska kappaleet eivät hajoa keskeltä vaan niiden pinta lähtee. 10 %:n levyt olivat niin heikkoja, että osa niistä oli saattanut heikentyä jo käsittelyvaiheessa. 10 %:n koekappaleita oli vaikea saada ehjinä koestuslaitteeseen.

Prosenttiosuudesta 40 % eteenpäin muovilevyt ylittävät standardiarvon. Yhtä 30 %:n poikkeuslevyä lukuun ottamatta yksikään alemmaa muoviosuutta oleva levy ei ylitä standardiarvoa. Vastaavasti yhtä muoviosuudella 50 % esiintyvää poikkeusta lukuun ottamatta yksikään 40 %:n muoviosuuden ylittävä levy ei alita standardiarvoa.

Vaihtelujen aiheuttamien sekaannusten vähentämiseksi on kuvassa 13 kuvattu muoviosuuden vaikutusta poikittaisvetolujuuteen. Standardisuora on A-luokan lastulevyille.



Kuva 13. Muoviosuuden vaikutus poikittaisvetolujuuteen

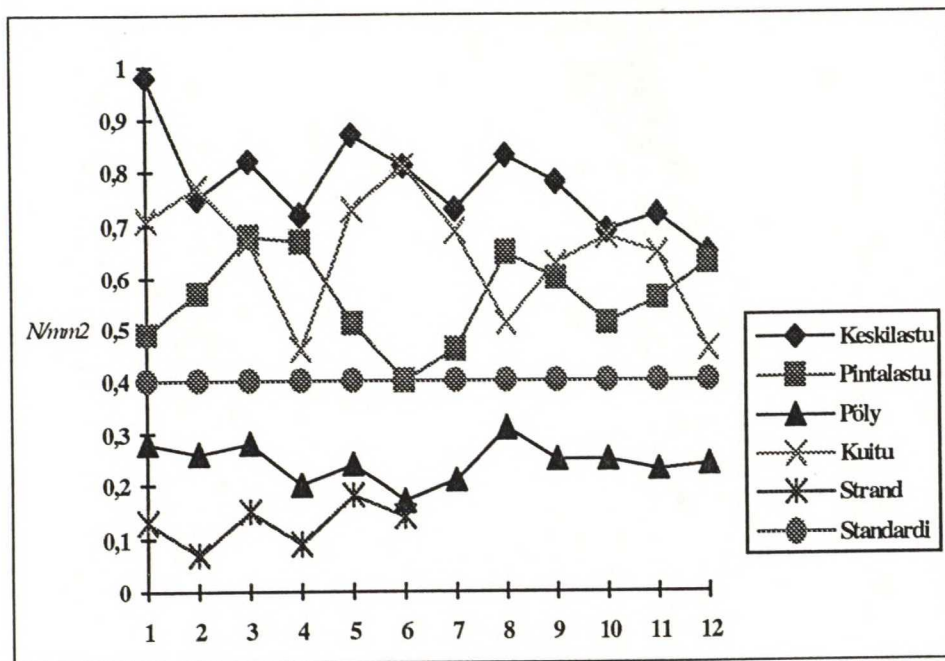
Poikittaisvetolujuus kasvaa kuvan mukaan eksponentiaalisesti tiheyden kasvaessa. Muoviosuudesta 50 % lähtien kappaleista lähti koestettaessa pinta sen sijaan, että ne olisivat haljenneet keskeltä kuten kuuluisi. Eräissä kappaleissa ei liimasauma pitänyt. Viimeisissä muoviosuuksissa (60 % ja 70 %) pinta lähti lähes poikkeuksetta irti.

Luotettavuusväli eri muoviosuuksien välissä tapahtuvalle poikittaisvetoluuden kasvulle on 95,5 %. Poikittaisvetoluudet kasvavat selvästi muoviosuuden kasvaessa. Kasvun luotettavuusväli, 95,5 %, on huomattavan suuri..



### 7.4.2 B-osan poikittaisvetolujuus

Kuvassa 14 on esitetty B-osan poikittaisvetolujuudet. Vertailukohteena on käytetty A1- ja A-luokan lastulevystandardia.

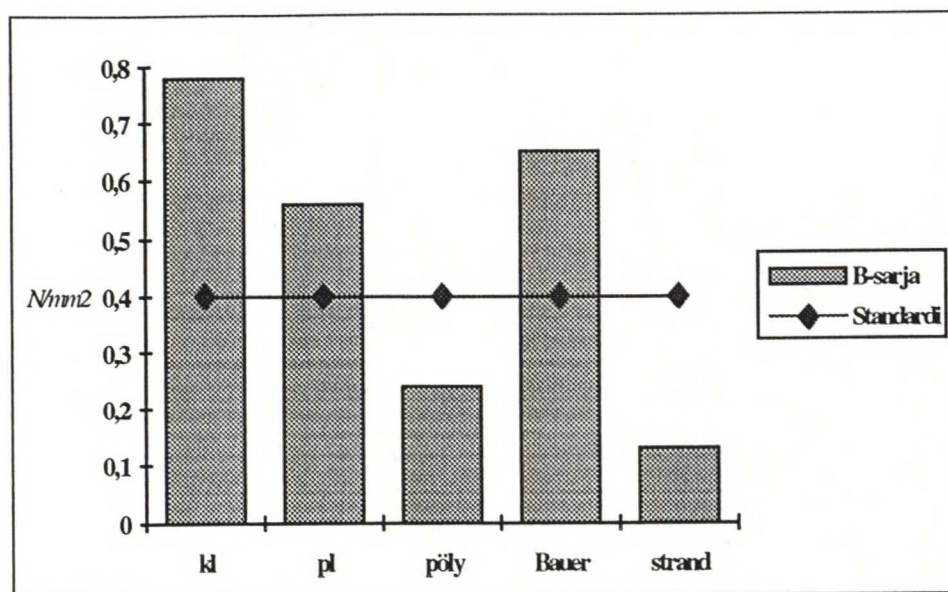


Kuva 14. B-levyjen poikittaisvetolujuudet

Strand-levyä lukuun ottamatta levyjen hajonnan ja poikittaisvetolujuuden välinen suhde on siedettävä. K1-levyllä suhde on jopa alle 10 %. Pintalastua, pölyä ja Bauer-kuitua sisältävillä levyillä suhde on noin 15 %. Strand-levyn yli 30 %:n suhde johtui muovin määrän vaihtelusta levyissä. Vaihtelu oli strand-levyä lukuun ottamatta suurinta pintalastulla ja kuitulevyllä. Näillä levyillä vaihtelu oli samansuuruista. Raaka-aineiden samankaltaisuuden vuoksi tämä ei ole yllättävää.

Pöly-levyt ja strand-levyt alittivat lastulevystandardiarvot selvästi. Muut levyt ylittivät lastulevystandardiarvon. Yhden pl-levyn poikittaisvetolujuus oli juuri standardiarvon suuruinen.

Kuvassa 15 on esitetty keskilastun vaihtelun vaikutusta poikittaisvetolujuuteen. Selvennykseksi on tähänkin kuvaan lisätty A-luokan lastulevyn standardiarvosuora.



Kuva 15. Keskilastun vaikutus poikittaisvetolujuuteen

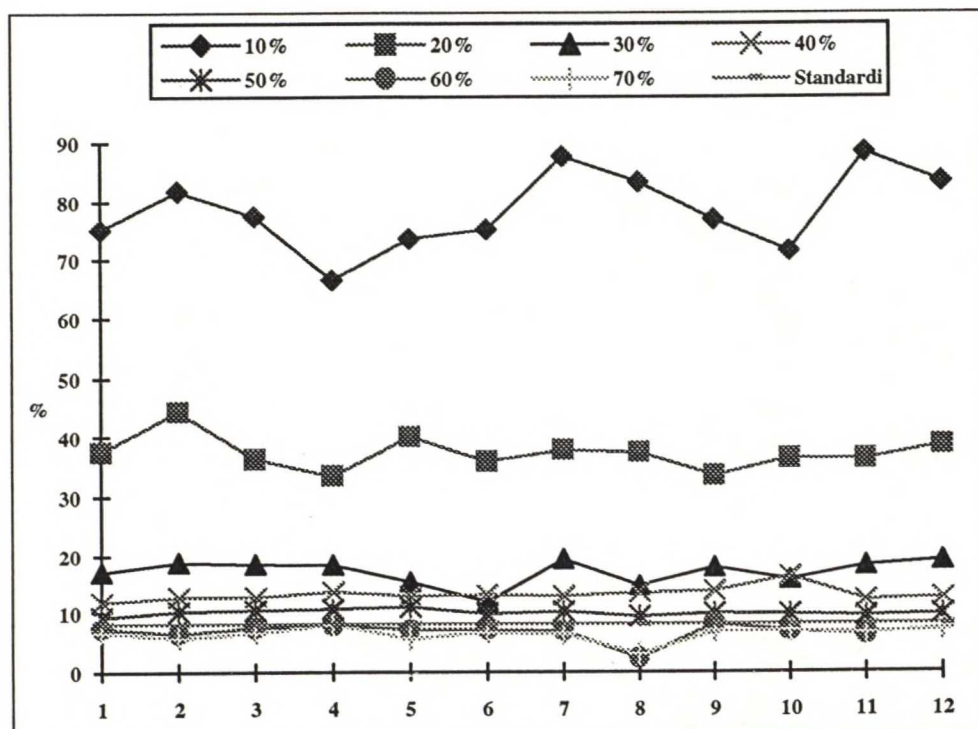
Poikittaisvetolujuuden arvot ovat samantyyppisiä kuin taivutuslujuudenkin. Pöly on heikointa, pintalastu ja Bauer-kuitu samankaltaisia ja keskilastu vahvaa. Pöly oli ulkonäöltään heikompaa kuin muut levyt. Strandin huonot tulokset johtuvat lähinnä siitä, että muovi ei levittynyt sekoitettaessa lastuihin. Levyissä on siten jokaisessa eri määrä muovia ja jokainen levy on eri tavoin siroteltu. Strand-levyissä ei ollut lastun kokoon nähden tarpeeksi liima-ainetta, eikä muovi ollut tarpeeksi tasaisesti levittynyt. Kosketuspinta-alaa on strand-levyissä paljon enemmän kuin muissa levyissä; levy olisi vaatinut samassa suhteessa enemmän muovia liimaksi. Jokaisen levyn muovi- ja strand-määrä olisi pitänyt mitata erikseen, mikäli olisi haluttu täsmälleen samanlaisia levyjä.

Keskilastulevy on 95 %:sesti lujempaa kuin pintalastulevy, joka puolestaan on samalla luotettavuudella pölyä lujempaa. Bauer-kuitua sisältävien levyjen poikittaisvetolujuus on pölylevyä ja strand-levyä parempaa 95 %:n luotettavuusvälillä.

## 7.5 LEVYJEN PAKSUUSTURPOAMA

### 7.5.1 A-osan paksuusturpoama

Kuvassa 16 on esitetty levyjen paksuusturpoama levyittäin. Vertailukohteena on käytetty V313-levyjen 24 h turpoamastandardia.



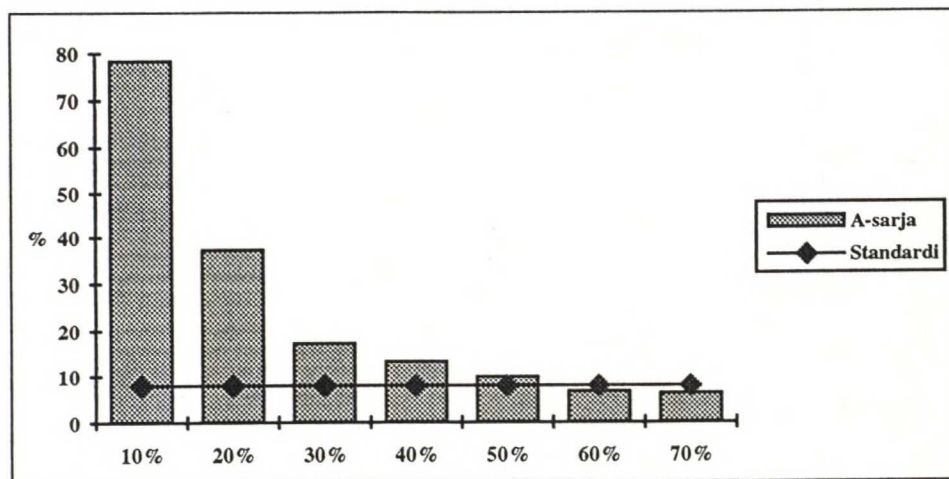
Kuva 16. A-levyjen paksuusturpoamat

Kahta viimeistä muoviosuutta, 60 % ja 70 %, lukuun ottamatta levyjen hajonnan ja paksuusturpoamien välinen suhde alittaa 10 % eli tulokset ovat selvästi luotettavia. 60 %:lla ja 70 %:lla suhde on noin 20 %. Muoviosuuksissa 10 % ja 30 % oli osa koelevyistä V313-pintalastulla valmistettuja. Kaikki levyt koestettiin kuitenkin samalla tavalla, eikä V313-liimaus muuttanut hajontaa heikoksi. Erilaisesta pintaliimasta huolimatta tulokset ovat siis tilastollisesti luotettavia. Muoviosuuksien 60 % ja 70 % epäluotettavuus tulee levyjen hionnasta. Epätasaisina levyt hioutuivat lähes pinnattomiksi eräistä kohdista, jolloin muoviosuuden ollessa tarpeeksi suuri kyseinen koekappale tuskin turposi ollenkaan. Paljon pintaa sisältäneet palaset sen sijaan turposivat selvästi. Alhaisemmilla muoviosuuksilla levyt olivat paksumpia ja tasaisempia, joten niitä ei hiottu liikaa.



Turpoamaominaisuuksin levykohtainen vaihtelu oli kahta suurinta muoviosuutta lukuun ottamatta pientä. Tämä johtui lähinnä suuresta kappalemäärästä.

Kuvasta 17 voi nähdä muoviosuuden vaikutuksen paksuusturpoamaan kokonaisuutena edellistä kuvaa paremmin. Standardi on A-luokan lastulevyille.



Kuva 17. Muoviosuuden vaikutus paksuusturpoamaan

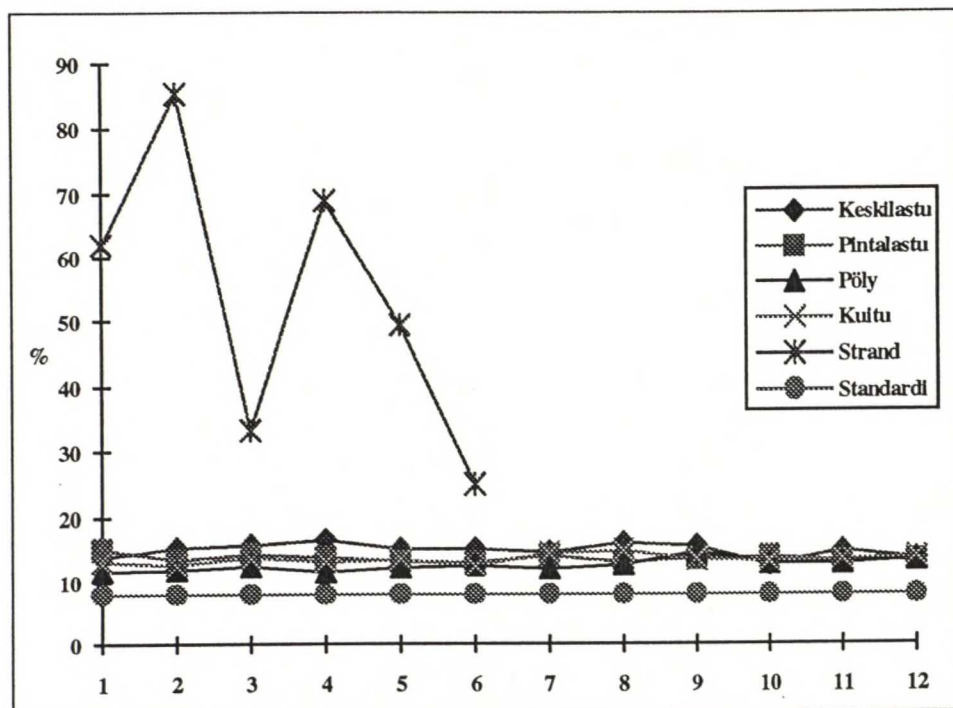
Tiheyden kasvaessa paksuusturpoama vähenee selvästi. Paksuusturpoaman väheneminen muoviosuuden funktiona näyttää kuvan perusteella olevan eksponentiaalista. Todennäköisesti suuntaus jatkuu, sillä muovi itsessään ei juuri ime vettä. Turpoamatonta levyä ei pystytä tekemään, ellei pintalastun liimaksi käytetä muovia tai pintalastua jätetä kokonaan pois.

Ainoastaan muovilevyt 60 % ja 70 % alittivat standardiarvon. Kun otetaan huomioon, että standardi on annettu 24 h:lle 2 h:n sijasta, voidaan tuloksia pitää heikkoina. Standardi on kuitenkin tarkoitettu säänkestävällä liimalla liimatuille levyille. Koelevyjen pintalastu on liimattu tavallisella liimalla. Suuria muovipitoisuuksia sisältävät levyt eivät todennäköisesti olisi turvonneet enempää. Niistä turposi lähinnä pintalastu. Muoviosuudella 10 % noin kymmenesosa koekappaleista hajosi liotuksessa. Suuremmilla muovipitoisuuksilla tätä ei tapahtunut.

Paksuusturpoaman pieneneminen muoviosuuden funktiona on luotettavaa 95 %:n todennäköisyydellä muoviosuuksilla 10 %..60 %. muoviosuuksien 60 % ja 70 % välissä kovuus on tilastollisesti luotettavaa vain 30 %:n luottamusvälillä. Paksuusturpoama ei juuri muutu muoviosuuden lisääntyessä 60 %:n yli.

### 7.5.2 B-osan paksuusturpoama

Levyjen kahden tunnin paksuusturpoamat on esitetty kuvassa 18. Vertailukohteena on käytetty V313-standardia 24 h:lle.

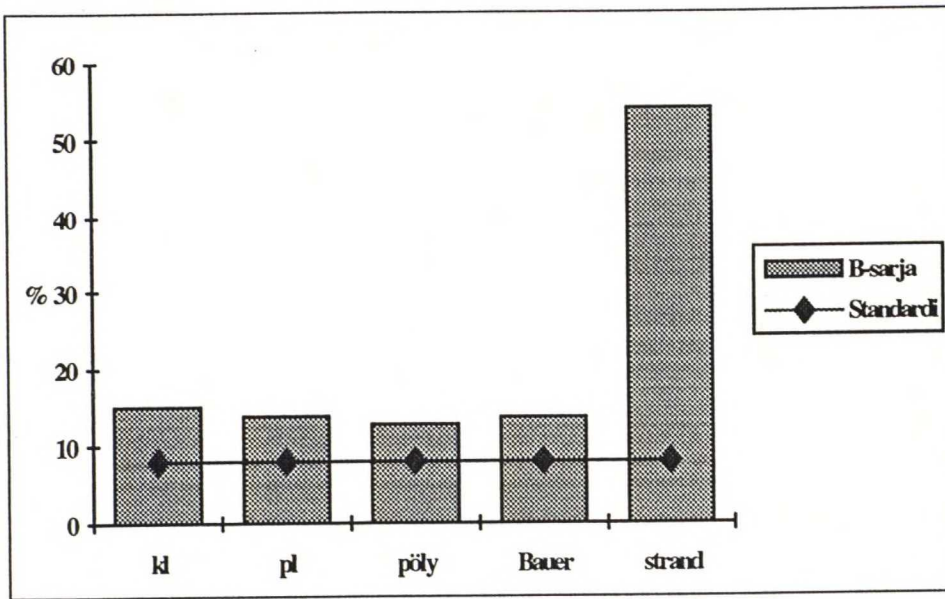


Kuva 18. Levyjen paksuusturpoamat

Paksuusturpoamien ja hajonnan välinen suhde on selvästi alle 10 % kaikilla muilla paitsi strand-levyllä. Paksuusturpoamatulokset ovat selvästi luotettavia. Tämä johtuu lähinnä suuresta kappalemäärästä koelevyä kohden. Strand-levyn huono (noin 40 %) hajontasuhte johtuu muovimäärän vaihtelusta levyissä. Vähän muovia ja paljon puuta sisältäneet levyt turposivat huomattavasti. Osa paksuusturpoamakappaleista hajosi käsiteltäessä ja osa hajosi lastuiksi vedessä.

Yksikään levy ei alittanut 24 h:n standardia. Ero standardiarvon ja parhaiden saatujen tulosten välillä on alle 4 %-yksikköä.

B-osan paksuusturpoama keskilatun vaihdella on esitetty kuvassa 19. Standardiarvo on A-luokan lastulevyille.



Kuva 19. Keskilastun vaikutus paksuusturpoamaan

Paksuusturpoaman tulokset ovat huomattavan samanlaisia tiheydestä tai keskilastusta riippumatta. Muovimäärän vaihtelusta johtuen strand-levyt turposivat eniten. Muovimäärä oli paitsi huonosti sekoittunut ja epätasaisesti levitetty myös riittämätön lastujen suurta pinta-alaa varten. Yksikään levy ei alittanut standardiarvoa, vaikka vertailuarvo on annettu 24 h:lle. Syy tähän on pintalastun liimassa. Säänkestävällä liimalla tulokset olisivat todennäköisesti olleet parempia.

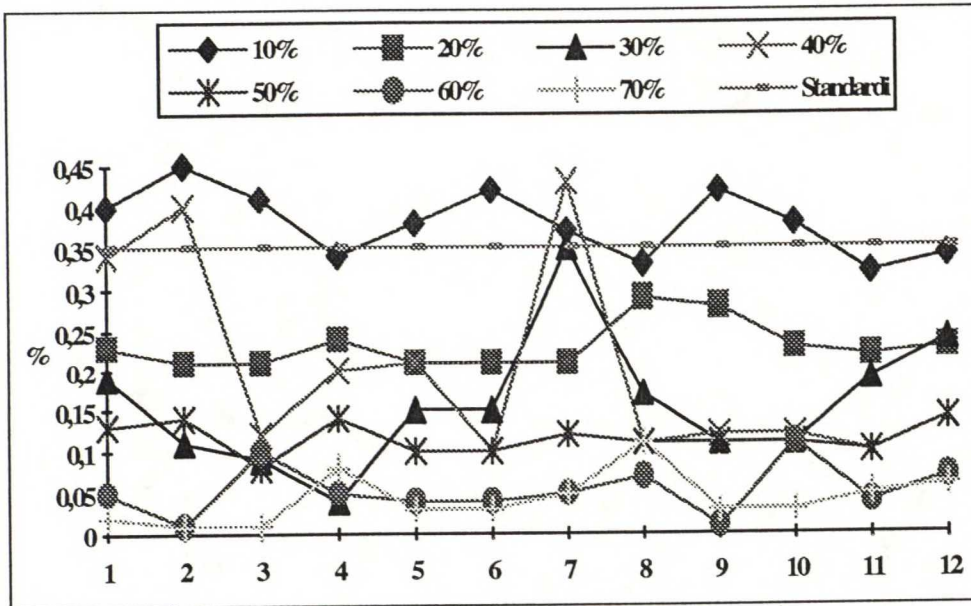
Paksuusturpoama on suurempi keskilastulevyllä kuin pintalastulevyllä 95 %:n luottamusvälillä. Pl-levyn ja kuitulevyn paksuusturpoamat ovat pienempiä kuin pölylevyn samalla luottamusvälillä. Kuitulevyn paksuusturpoama 95 %:n luottamusvälillä on pienempi kuin strand-levyn.



## 7.6 LEVYJEN PITUUSTURPOAMA

### 7.6.1 A-osan pituusturpoamat

Kuvassa 20 on esitetty levyjen pituusturpoamat levyittäin. Vertailun vuoksi kuvioon on lisätty standardin mukainen pituusturpoama.

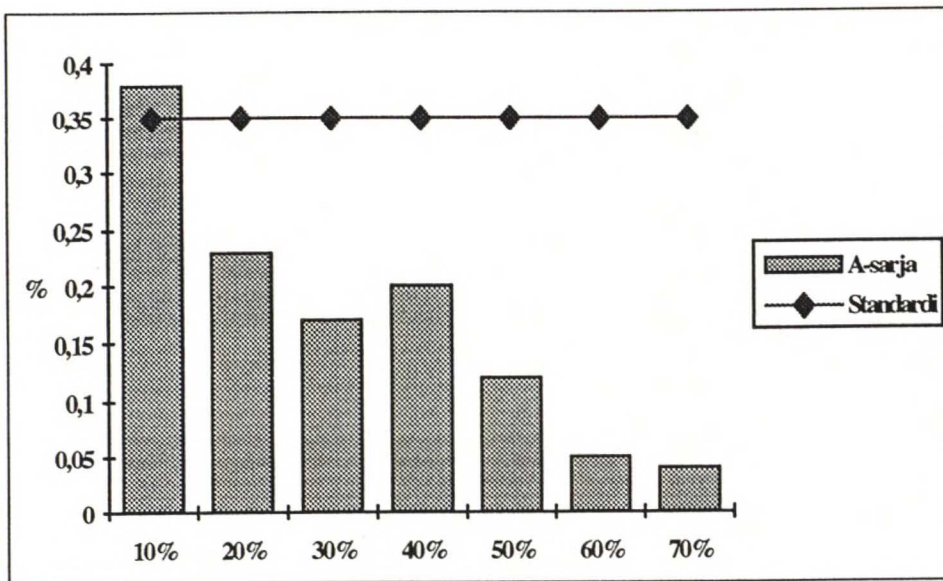


Kuva 20. A-levyjen pituusturpoamat

Muoviosuuksilla 30 %, 40 % ja 70 % hajonnan ja pituusturpoaman välinen suhde on 50 %. Tulos on erittäin epäluotettava. Muilla levyillä osuus on alle 10 %. Koska turpoamat ovat hyvin pieniä, antaa yksikin suurempi muutos heti suuren hajonnan. Tällöin yksi ainoa mittausvirhe tai virheellinen koestuskappale riittää aiheuttamaan suuren hajonnan.

Muoviosuutta 10 % ja kahta 40 %:n ja yhtä 30 %:n levyä lukuun ottamatta pituusturpoamat alittavat lastulevystandardille määrätyt rajat. Mitä suurempi muoviosuus oli, sitä parempia olivat turpoama-arvot. Muoviosuuden 40 % tulokset näyttävät olevan suurempia kuin muoviosuuden 30 %.

Edellinen suuntaus näkyy vielä selvemmin kuvasta 21. Standardisuora on lastulevystandardista.



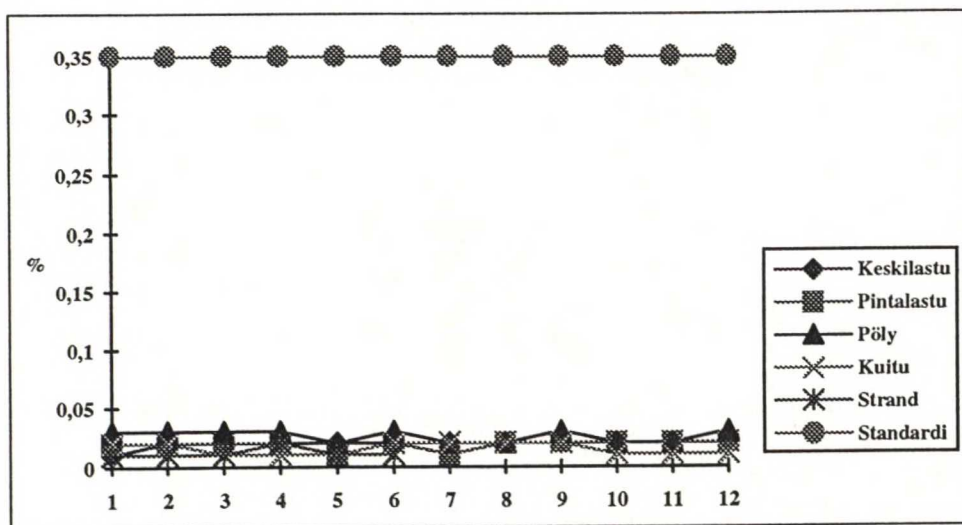
Kuva 21. Muoviosuuden vaikutus pituusturpoamaan

Pituusturpoama vähenee selvästi tiheyden kasvaessa. Täysin turpoamattomia kappaleita esiintyy vain muoviosuudella 70 %. Turpoamattomuuden syynä on pintakerroksen puute. Joidenkin 70 %:n kappaleiden pintakerros oli kokonaan tai osittain hioutunut pois, jolloin turpoavaa kerrosta ei ollut. Lastulevystandardin alitus muoviosuutta 10 % lukuun ottamatta on selvä. Muoviosuuden 40 % pituusturpoama poikkeaa laskevasta eksponentiaalifunktiosta. Kuvassa nähtävä tulos on keskiarvo kahdestatoista levystä, joista jokaisesta on viisi mittaustulosta. Mittauksissa ja laskuissa ei ole mitään poikkeavaa, eikä valmistuksessa tapahtunut mitään, mikä selittäisi eron. Koelevyissä oli kaksi lähes kaksi kertaa muita enemmän turvonnutta levyä, jotka kasvattivat yleistä keskiarvoa.

Kuvasta nähtävä pituusturpoaman lasku muoviosuuden vähentyessä on luotettavaa 99,5 %:n luottamusvälillä. Tulokset ovat erittäin luotettavia.

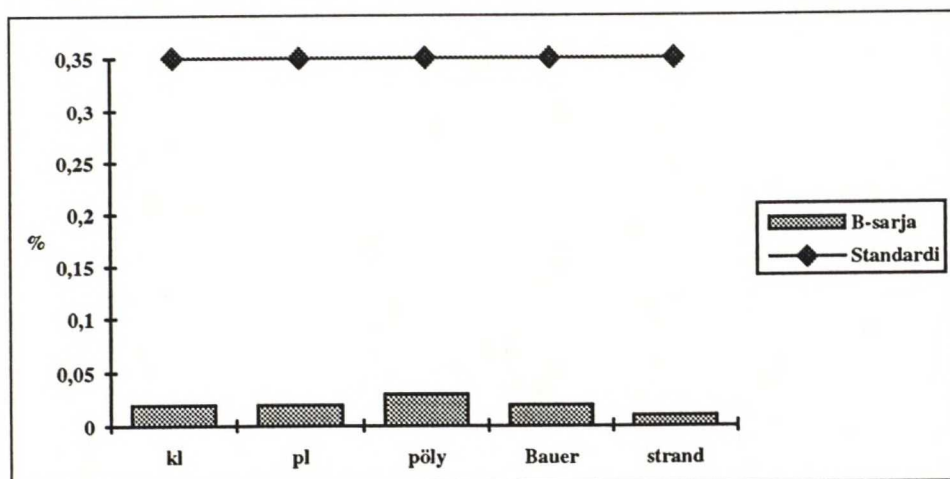
## 7.6.2 B-osa pituusturpoamat

Kuva 22 selvittää pituusturpoamia verrattuna lastulevyjen standardiarvoon. Kaikki levytyypit alittivat arvot selvästi.



Kuva 22. B-levyjen pituusturpoamat

Kaikkien levytyyppien hajontasuhteet ovat olemattomia. Tulokset ovat niin luotettavia kuin ne on mahdollista saada. Suurin osa pituusturpoamista oli joko 0,01 %, 0,02 % tai 0,03 % levytyypistä riippuen. Keskilastun vaikutus pituusturpoamaan on erittäin selvänä kuvassa 23. Standardisuora on lastulevystandardista.



Kuva 23. Keskilastun vaikutus pituusturpoamaan



Pituusturpoamissa selvästi heikoimmat arvot saivat pölyä sisältäneet kappaleet. Tämä saattaa johtua osaksi siitä, että ne hajosivat heikompina laidoilta paloiteltaessa. Pitkälästyinen strand ei juuri turvonnut.

B-osan ominaisuuksien A-osaa paremmat arvot johtuvat suuremmasta tiheydestä. Huokoisempi levy imi tiheämpää enemmän kosteutta .

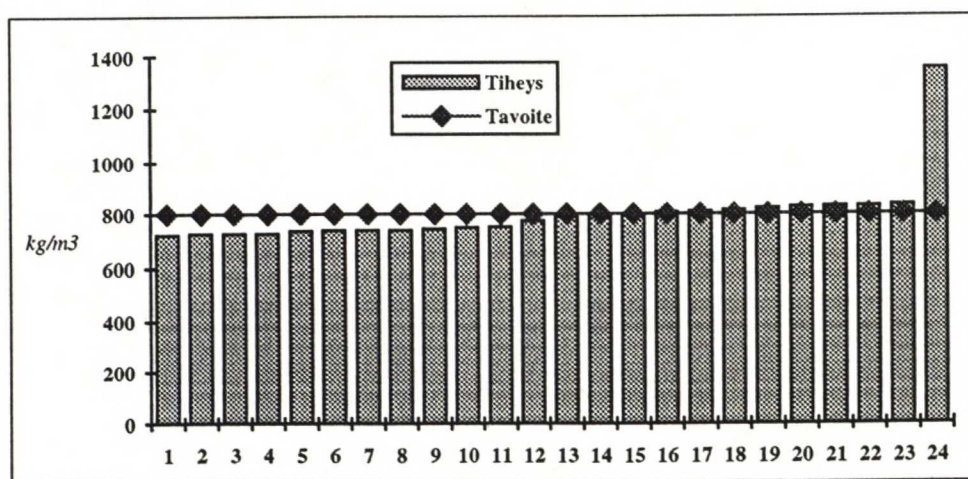
Pintalastulevyn pituusturpoama on suurempi kuin keskilastulevyn ja pienempi kuin pölylevyn luottamusvälillä 95 %. Samalla luottamusvälillä kuitulevyn pituusturpoama on suurempi kuin pölylevyn ja strand-levyn.

## 7.7 TIHEYDEN VAIKUTUS OMINAISUUKSIIN

### 7.7.1 Tiheys muoviosuudella 40 %

Tiheyden vaikutusta ominaisuuksiin on selvitetty A-sarjan osalta liitteessä 7 ja B sarjan osalta liitteessä 8. Tässä kappaleessa on esitetty graafisesti tiheyden vaikutus ominaisuuksiin, kun muoviosuus on 40 % ja sisusta keskilastua. Koska keskilastu uusittiin B-sarjassa, on koelevyjä kaksinkertainen määrä muihin levysarjoihin verrattuna, 12 A-sarjasta ja 12 B-sarjasta. Levysarjoilla on eri tiheydet, koska B-sarjassa on 8 % enemmän keskilastua.

Levyjen tiheydet on esitetty suuruusjärjestyksessä kuvassa 24. Levyistä jotakuinkin ensimmäiset 12 ovat A-sarjan levyjä ja 12 viimeistä B-sarjan levyjä.

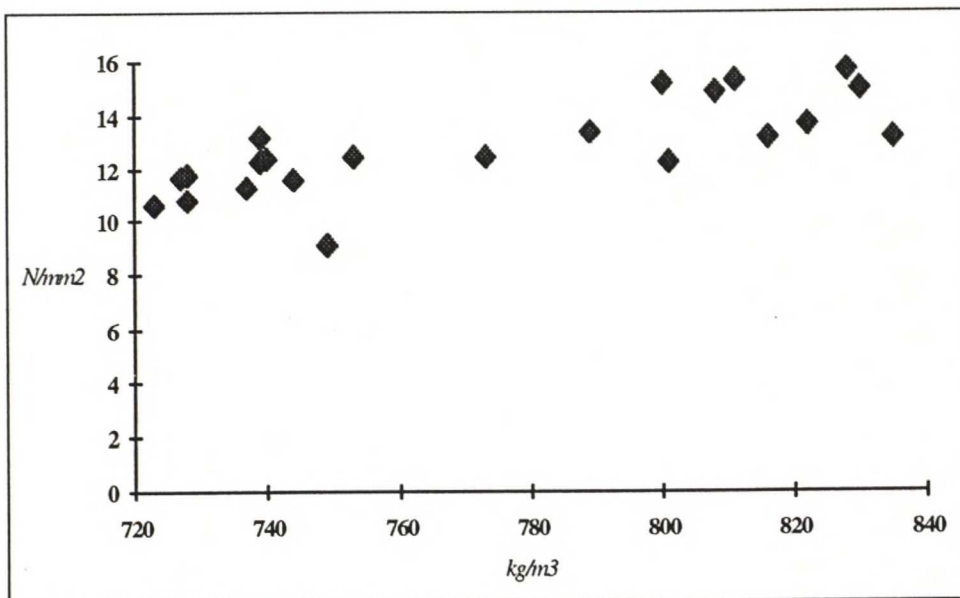


Kuva 24. Levyjen tiheydet (40 %)

Kuvasta voidaan havaita, että ensimmäiset 13 levyä alittivat toivotun tiheyden  $800 \text{ kg/m}^3$ . 11 viimeistä levyä ylittivät toivotun arvon. Lähinnä tämä tarkoittaa, että kaikki A-sarjan levyt ja yksi B-sarjan levy alittivat toivotun arvon ja loput B-sarjan levyt ylittivät sen. B-sarjan viimeisellä levyllä on suurin tiheys,  $1359 \text{ kg/m}^3$ . Se muodostaa selvän piikin muuten tasaisessa kuviossa.

### 7.7.2 Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen

Kuvassa 25 on esitetty tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen muoviosuudella 40 %. Tulokset ovat samankaltaisia muillakin koelevyillä. Ainostaan suorien kulmakertoimet muuttuvat muoviosuuksien ja keskilastun vaihdellessa.



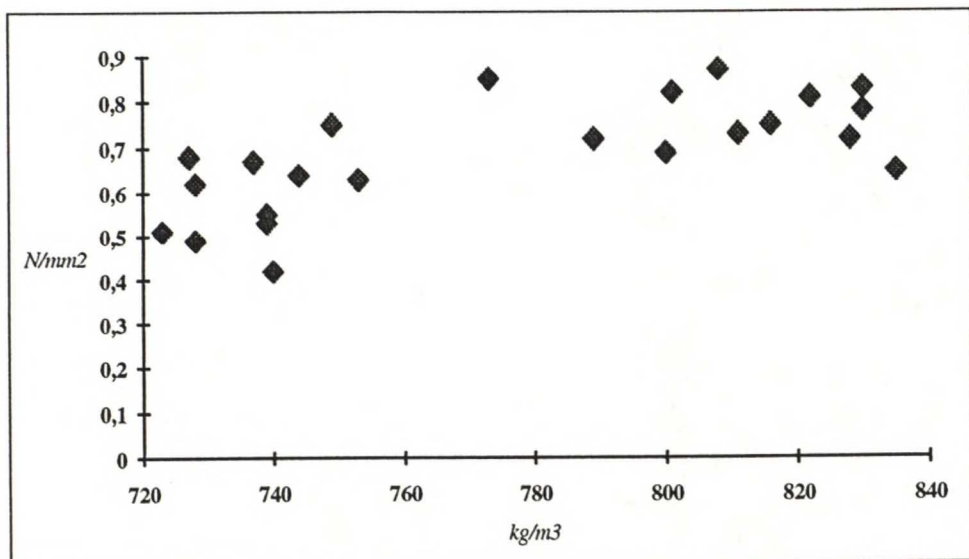
Kuva 25. Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 40 % )

Taivutuslujuus kasvaa heikosti tiheyden kasvaessa muoviosuudella 40 %. Tiheyden ja taivutuslujuuden välinen korrelaatiokerroin on 0,37 eli korrelaatio suora on lievästi nouseva.

Kaikilla muoviosuuksilla ja keskilastuilla tiheyden ja taivutuslujuuden välinen korrelaatio oli samantyyppinen. Taivutuslujuus kasvaa lievästi sillä tiheysvälillä, joka saatiin koetuloksilla. Kuvan 25 ja liitteiden välisen vertailun mukaan taivutuslujuuden kasvu olisi sitä selvempää, mitä enemmän tiheys kasvaa.

### 7.7.3 Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen

Kuvassa 26 tarkastellaan tiheyden vaikutusta poikittaisvetolujuuteen. X-akselilla samalla pystysuoralla olevat kappaleet ovat yhtä tiheitä eli samoja levyjä kuin kuvassa 25. Paitsi yleisenä suorana, tiheys näyttää vaikuttavan yksittäisten levyjen suhteen siten, että yhdestä levystä saadut tulokset ovat samankaltaisia haetusta ominaisuudesta riippumatta, eli levy on joko hyvä tai heikko. Sama levy on harvoin heikko lujuusominaisuuksiltaan ja hyvä turpoamaominaisuuksiltaan. Tiheydellä on tässä suuri merkitys.



Kuva 26. Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 40 % )

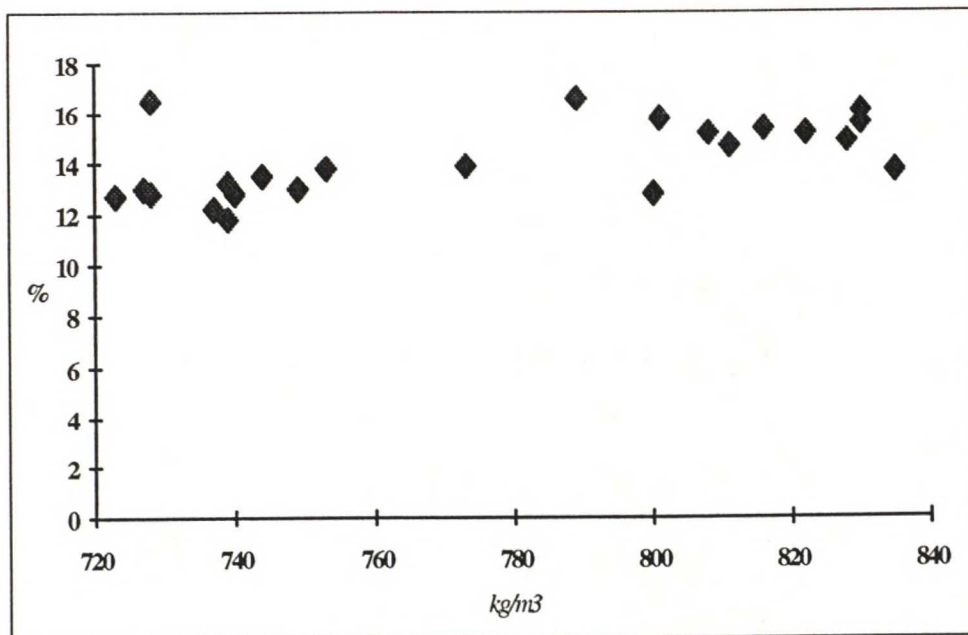
Poikittaisvetolujuus kasvaa selvästi tiheyden kasvaessa muoviosuuden ollessa 40 %. Tiheyden ja poikittaisvetolujuuden välinen korrelaatiokerroin on 0,69. Korrelaatiokerroin on itseisarvoltaan selvästi suurin mitatuista arvoista. Yleisesti ottaen voitaisiin sanoa, että taivutus- ja poikittaisvetolujuussuorien suunnat ja kulmakertoimien etumerkit ovat kuvissa 25 ja 26 samanlaisia, kertoimen absoluuttinen arvo erilainen. Samasta levystä saadut tulokset ovat samantyyppisiä

Verrattaessa liitteitä ja kuvaa 26 havaitaan sama suuntaus kuin taivutuslujuudella. Poikittaisvetolujuuden ja tiheyden välinen korrelaatio näyttää liittissä olevan merkittävämpää kuin tiheyden ja taivutuslujuuden. Kuvien asteikot kuitenkin vaihtelevat ja saattavat siten aiheuttaa virheitä.



#### 7.7.4 Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan

Kuva 27 selvittää tiheyden vaikutusta paksuusturpoamaan. Kuviosta on vaikea vetää johtopäätöksiä, sillä pisteet eivät ole tasaisesti asettuneita.



Kuva 27. Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 40 % )

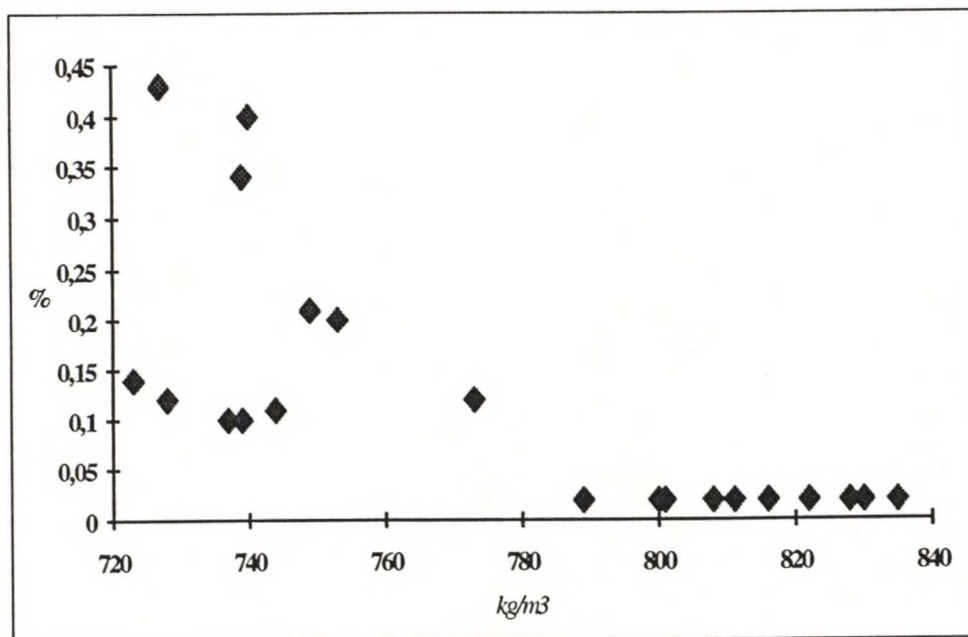
Muovi-%:lla 40 % tiheys ei kuvan mukaan vaikuta sanottavasti paksuusturpoamaan. Tiheyden ja paksuusturpoaman välinen korrelaatiokerroin on kuitenkin 0,60. Tulos on yllättävä, sillä yhdelläkään muulla muoviosuudella korrelaatiokerroin ei ole saman merkkinen. Liitteiden mukaan paksuusturpoama pienenee tiheyden kasvaessa.

Muoviosuudella 40 % paksuusturpoama-arvot erosivat selvästi suuntauksesta. Jostain syystä huokosemmat levyt turpoavat vähemmän kuin kiinteät. Varsinkin muilla keskilastuilla tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan oli selvä. Tiheyden kasvaessa paksuusturpoama väheni.

Paksuusturpoaman kasvu tiheyden funktiona johtuu todennäköisesti siitä, että B-sarjan levyjen pintakerros oli A-sarjan pintakerrosta paksumpi. B-sarjan levyt olivat A-sarjaa paksumpia. Tällöin jo muoviosuudella 40 % keskikerroksen vaikutus olisi pieni pintakerroksen vaikutukseen verrattuna eli keskikerros turpoaisi vain vähän.

### 7.7.5 Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan

Kuvassa 28 on esitetty tiheyden vaikutus pituusturpoamaan. Kuvan selvästi laskeva käyrä on jakautunut huokoisemmalta osaltaan kahteen haaraan.



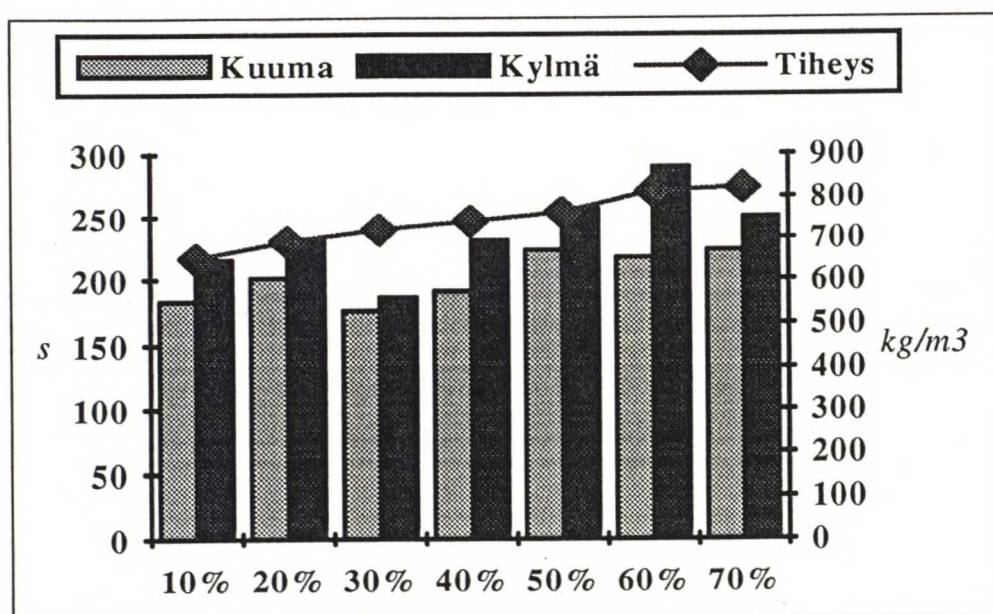
Kuva 28. Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 40 % )

Tiheyden kasvu parantaa pituusturpoamaominaisuuksia selvästi. Tiheyden ja pituusturpoaman välinen korrelaatiokerroin on -0,39 eli lievästi laskeva. Kuvan mukaan korrelaatio olisi selvästi laskeva, mutta ongelmia tuo pienten tiheyksien suuresti toisistaan poikkeavat turpoamat. Halutulla tiheydellä pituusturpoama on jo minimaalista. Vähän sitä suuremmilla tiheyksillä ja muoviosuuksilla saatiin jo negatiivisia turpoamia tai nollaturpoamia. Levyn tiheyden kasvattaminen ei todennäköisesti enää paranna pituusturpoamaa.

Yleisesti sanoen tiheyden vaikutus ominaisuuksiin on selvä. Tiheät levyt ovat kaikilta ominaisuuksiltaan huokoisia parempia. Erilaisilla keskilastuilla tiheyden vaikutukset näkyivät selvemmin kuin erilaisilla muoviosuuksilla. A- ja B-sarjan vaihteluvälit eri ominaisuuksille olivat suunnilleen samaa luokkaa ilman pituusturpoamaa. B-sarjan tiheyden vaihteluvälit olivat aavistuksen suurempia kuin A-sarjan.

## 7.8 PURISTUSAJAN VAIKUTUS OMINAISUUKSIIN

Puristus aika ei vaikuttanut sanottavasti yksittäisiin levyihin. Kuvassa 29 on tutkittu puristus aikojen vaikutusta tiheyteen. Tiheyden ja muiden ominaisuuksien välinen korrelaatio todettiin luvussa 7.7. Kuviossa kuumapuristus on nimityksellä *Kuuma* ja kylmäpuristus nimityksellä *Kylmä*.



Kuva 29. Puristus aikojen vaikutus levyjen tiheyteen

Noin yleisesti katsottuna vaikuttaisivat puristusajat kasvavan kun tiheys kasvaa. Levyjen puristus nopeutui koko ajan, ja kuuma- ja kylmäpuristuksen väliin jäävä turha aika lyheni samalla. Toisaalta muovin sulaminen sitoo lämpöä. Mitä enemmän muovia on, sitä enemmän täytyy levyn sitoa lämpöä, jotta puristus onnistuisi. Puuaine ei käytä lämpöä muuhun kuin lämpenemiseen. Puu on eriste, joten sen läsnäolon pitäisi pidentää aikaa, joka kuluu muovin lämmittämiseen.

Kuumapuristus aika oli kylmäpuristus aikaa lyhyempi. Kylmäpuristus aikaa pidensi se, että metallilevyjä oli liian vähän ja ne oli vaikea kylmentää puristusten välillä.



## 8. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Muovilevyjen parhaita etuja ovat niiden hyvät, jopa erinomaiset poikittaisvetolujuus- ja pituusturpoama-arvot. Levyt yhdistävät muovin hyvät kemialliset ja sähköneristysominaisuudet ja puun jäykkyys ja hyvät esteettiset ominaisuudet. Lisäksi levyjen formaldehydipitoisuus on alhainen. Muovilevyjä voi käyttää esimerkiksi seinälevyiksi. Niistä saa tasaisen, saumattoman seinän. Lastulevystä ei koskaan saa saumatonta seinää sen turpoamisen takia.

Muovin lämmönkestoalue on noin  $-50..60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Levyt soveltuvat tälle alueelle tuleviin rakennuskohteisiin, eli saunaa lukuunottamatta kaikkiin huoneisiin. Levyjen turpoama on sen verran pieni, että suuremmilla muoviosuuksilla, 50 %, 60 % ja 70 % muovilevyn voisi laittaa vaikka suihkukopin seinäksi, jos siihen ei laiteta pintaa ollenkaan tai pintakerros on kosteudenkestävää materiaalia. Paksuusturpoamaominaisuudet muuttuvat pintalastun määrän ja liiman vaihdellessa.

Muovilevyjen huono puoli on niiden taipumus virumiseen. Suurilla muoviosuuksilla, 60 % ja 70 %, valmistetut levyt kaareutuvat ja käpristyvät turhankin helposti. Lisäksi levyjen reunoista tulee helposti keskikohtaa ohuempia, kun sulanut muovi valuu pois. Levyistä tulee elastisia muoviosuuden lisääntyessä. LDPE on altis UV-säteilyn haurastuttavalle vaikutukselle. Pälle tuleva puukerros estänee kuitenkin auringonsäteiden suoran kontakin polyteenin kanssa. Levyjen ominaisuudet muuttuvat selvästi muovipitoisuuden funktiona. Muoviosuuksia 10 %, 60 % ja 70 % ei kannattane ottaa tuotantoon ainakaan seinälevyiksi. 10 %:n levyt ovat liian heikkoja, eikä tiheydenkään lisäys parantane ominaisuuksia riittävästi. Suuremmat muovipitoisuudet tuovat muovin huonot ominaisuudet, virumisen ja taipumisen, liian vahvoiksi.

Kaikki keskilastulevyt strand-levyä lukuun ottamatta sopivat seinälevyiksi. Keskilastulevyä voi käyttää kantavana rakenteena, kun pölylevy sopii kohteisiin, joissa siltä ei vaadita suuria lujuuksia. Riittävällä muovipitoisuudella strand-levyistä saisi esim. lattialevyjä, lastun muoto sallii suuren kuormituksen.

Tiheyttä kasvattamalla saadaan parempia levyjä. Optimitiheys lieenee  $800\text{ kg/m}^3$ :n paikkeilla. Puristusaika pitenee muoviosuuden kasvaessa. Ominaisuudet noudattavat yleensä eksponentiaalikäyriä, jolloin ominaisuuksien muutos pienenee muoviosuuden kasvaessa. Parhaimmaksi muoviosuudeksi käytännön kannalta jäänee  $40\text{ } \pm 10\text{ } \%$ . Paras keskilastu riippuu käyttökohteesta.

## 9 YHTEENVETO

Muovien kierrätys on tullut uudeksi tärkeäksi tutkimuskohteeksi. Tähän ovat vaikuttaneet lainsäädäntö, ihmisten kiinnostus ja muut alaa tukevat avut, kuten ilmainen rakaa-aine. Uusia tapoja käyttää kierrätyskelpoista muovia keksitään koko ajan. Tämä työ on osa sellaista projektia.

Muovit lajitellaan lähinnä kerta- ja kestopuoveihin. Edellisiä voidaan käyttää vain kerran, jälkimmäisten molekyyliisidokset ovat niin heikkoja, että ne pystyvät osittain irtautumaan. Tämä tekee mahdolliseksi muovien uudelleenkäytön. Sidosten avautumiseen tarvitaan lämpöä, mistä syystä muoveja kutsutaan myös termoplastisiksi muoveiksi.

Suurin ryhmä kestopuoveissa ovat polyolefiinit. Nämä ovat hiilivetyjä, joissa on ainakin yksi kaksoissidos. Näihin kuuluu myös työssä käytetty polyeteeni. Polyeteenin mekaaniset ominaisuudet eivät ole erityisen hyviä, mutta sen erinomaiset kemialliset ja sähköneristysominaisuudet ja halpa hinta tekevät siitä eniten käytetyn muoviraaka-aineen. Polyeteeniä käytetään runsaasti kaikissa ympärillämme olevissa muovin käyttökohteissa keittiöistä hiekkalaatikoille.

Toinen tunnettu kestopuovi on toiseksi yleisin polyvinyylikloridi eli PVC. Sen mainetta hankaloittaa muoviin liitetty kloori. Kertamuoveihin kuuluvat mm. fenolimuovit ja liima

Muoveista kierrätetään EY:n alueella noin 7 paino-%:a eli 18 tilavuus-%:a. Materiaali sinänsä on halvempaa kuin uusi puovi, mutta sen siistaus tulee kalliiksi. Muovijätteestä 71 % on polyeteeniä. Kaikista pakkausmateriaaleista puovi edustaa noin 10 %:a.

Kokeissa pyrittiin tutkimaan polyeteenin käyttöä liima-aineena puulevyjä valmistettaessa. Lisäksi haluttiin tutkia erilaisten puuraaka-aineiden yhteistyötä muovin kanssa. Puuraaka-aineena käytettiin keskilastua, pintalastua, pölyä., Bauer-kuitua ja strand-suikaleita. Strand otettiin mukaan lähinnä kuriositeettinä. Kokeet suoritettiin normaaleina laboratoriokokeina. Levyt valmistettiin Schaumann Wood Oy:n tutkimuslaboratoriossa Puhoksessa ja koestettiin samassa paikassa.

Suoritettujen kokeiden tarkoitus on ymmärtää vallitsevaa todellisuutta, ei saatuja numerosarjoja. Tulokset voivat antaa vain estimaation asioiden todellisesta laidasta. Todellisuus koostuu kaikista osasista, niistäkin, jotka eivät tule esille kokeissa. Toisaalta kokeiden tulokset eivät välttämättä kuulu todellisuuteen. Ilman laajempaa ja



pitempiäaikaista tietämystä muovilevyistä ja niiden käyttäytymisestä on mahdotonta sanoa varmasti kuinka oikeita tulokset ovat. Saadut hajonnat ja keskiarvot eivät kerro todellisista hajonnista ja keskiarvoista muuta kuin niiden estimaatit. Lisäksi on mahdotonta sanoa mitään pitkäaikaisen käytön vaikutuksista.

Toisaalta kokeita on nyt tehty sen verran monta, että suuntaukset ja todennäköiset suuruusluokat alkavat olla selvillä. Koetuloksia on käsitelty tilastollisin analyysin ja graafisesti. Kokeita valmistettiin kaksi sarjaa; muovipitoisuutta tutkiva A-sarja, josta valittiin optimipitoisuus B-sarjaan. B-sarjassa tutkittiin keskilastun merkitystä.

Levyjen tiheyden havaittiin jäävän A-sarjassa haluttua pienemmäksi. Tiheys jäi sitä pienemmäksi, mitä suurempi levyn muoviprosentti oli. Tiheyttä lisättiin seuraavaan sarjaan lisäämällä keskilastun ja muovin sekoitetta. Syynä tiheyshäviöön on hiontahäviö ja sulaessa puristimen välistä kokonaan pois valunut muoviaines sekä puristettaessa kakun reunoilta hupeneva osa.

Taivutuslujuudet eivät olleet kovin hyviä. Levyt olivat joko liian heikkoja tai liian elastisia. Pienemmällä muoviosuuksilla muovia ei ollut tarpeeksi sitomaan lastut toisiinsa. Suuremmilla muoviosuuksilla muovia oli niin paljon, että levyistä tuli muovimaisen elastisia. Levyt tulevat tuskin koskaan saavuttamaan oikein hyviä taivutuslujuusarvoja. Tiheämmillä B-sarjan levyillä arvot olivat kuitenkin selvästi parempia. Strand-levyjen taivutuslujuudet ylittivät standardiarvon. Strand sallii muotonsa takia suuremman purituksen kuin muut lastutyypit.

Poikittaisvetolujuudet sen sijaan olivat hyviä. Jo 40 %:n muoviosuudella levyt ylittivät lastulevystandardiarvon. Suuremmilla muovipitoisuuksilla kappaleet eivät enää hajonneet keskeltä vaan pinnan ja muoviosan välisestä liimasaumasta. Se tulee olemaan heikko kohta ellei pintaa liitetä jotenkin muoviin. Poikittaisvetolujuusarvot nousivat lähes eksponentiaalisesti muoviosuuden funktiona. Puuaineesta pöly oli selvästi heikointa ja keskilastu vahvinta. Tuotantopintalastu ja Bauer-kuitu olivat jotakuinkin samanvahvuisia, keskilastua heikompia ja pölyä vahvempia. Strand ei saanut tarpeeksi liimaa laajaa alaansa varten, ja se hajosi helposti.

Paksuusturpoama-arvot olivat huonompia kuin niiden olisi oikeastaan kuulunut olla. Kaikki levyt jäivät standardiarvon alapuolelle, vaikka standardina käytettiin 24 h:n turpoamastandardia. Syynä oli lähinnä väärä pintalastun liima. Eniten muovia sisältäneet muoviosuutta tutkivat levyt ja keskilastulevy eivät juuri turvonneet. Muovi ei juuri turpoa. Ainoastaan normaaliliimalla liimattu pintalastu turposi. Vähän muovia sisältäneet levyt olivat niin heikkoja, että ne hajosivat vedessä.



Pituusturpoamaominaisuudet ovat muovilevyillä sen sijaan hyviä. A-osan levyjen arvot eivät olleet mitenkään loistavia, mutta tiheyttä nostettaessa arvoista tuli erittäin hyviä. Monet kappaleet eivät turvonneet ollenkaan.

Tiheys vaikuttaa ominaisuuksiin suorasti. Tiheyden mukaan voidaan katsoa, millaisia levyjen ominaisuudet ovat. Mitä tiheämpiä levyt ovat, sitä parempia ovat niiden ominaisuudet.

Puristusaika ei vaikuttanut levyjen ominaisuuksiin. Tarvittava puristusaika tuntuisi lisääntyvän muoviprocentin kasvaessa. Muovi sitoo sulaakseen lämpöä. Puristusajan vaikutus ei ole tilastollisesti luotettava. Muutujia on liian monta, jotta voitaisiin vetää yhtään luotettavaa johtopäätöstä.

## **10 KIRJALLISUUSVIITTEET**

### **Lehtiartikkelit**

1. DONG, S., SAPIEHA, S., Characterization of Interfacial Adhesion in Cellulose Fiber/Thermoplastic Systems. Antec '91, s. 1154 - 1156.
2. Kemian päivät pohti muovien kierrätystä. Pakkaus 27(1991):12. s.24 - 25.
3. KÄRHÄ, V., Born to be recycled - muovi kiertää USAssa. Pakkaus 28(1992):3, s. 19-21.
4. OLSEN, D. J., Effectiveness of Maleated Polupropylenes as Coupling Agents for Wood Flour/Polypropylene Composites, Antec '91, s. 1886 - 1891.
5. Pakkausjätteet pyöriyksessä - Eurooppalaiset laativat kilpaa talteenotto- ja kierrätys suunnitelmia. Pakkaus 27(1991):10. s. 15-18.
6. PAVLOCK, M. A., A Study of Binding Agents for Recycled Wood Cellulose and Polyolefin Composites, Antec '92, s.2146 - 2149.

### **Kirjallisuus**

7. BARENBERG, S.A., BRASH, J.L., NARAYAN, R. REDPATH, A.E., Degradable Materials, Perspectives, Issues and Opportunities. USA 1990, CRC Press. 761 s.
8. DIAMOND, W.J., Practical Experiment Designs for Engineers and Scientists. New York 1989, Van Nostrand Reinhold.. 390 s.
9. HULSE, S.J., Recycling Polymers from Scrap Products, A Technoeconomic Study from Rapra's business Development Cunsultancy. Shawsbury, Englanti 1990, Rapra Technology Ltd. 77 s.
10. INSKO: Muovien ominaisuudet, työstömenetelmät ja käyttö. Insinööri-tieto Oy 1984, Insinööri-järjestöjen Koulutuskeskus. s. 14-80.

11. INSKO: Muovien ominaisuudet ja käyttö. Insinööritieto Oy 17/1986, Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus. s.17-86.
12. LAININEN, P., Todennäköisyyslasku ja tilastomatematiikka, Espoo 1988, Otakustantamo 462, Otapaino. 254 s.
13. LYONNET, P., Tools of Total Quality. Great Britain, 1991, Chapman and Hall. 169 s.
14. MARTUSCELLI, E., MARCHETTA, C., NICOLAIS, L., Future Trends in Polymer Science and Technology. Polymers: Commodities or Specialities. Technomic Publishing Company, Inc. USA 1987. 247 s.
15. PÄÄKKÖNEN, E.J., Muovien tunnistaminen yksinkertaisin välinein. Offset-Koppinen Oy, Helsinki 1987. 66 s.
16. ROBERTS, S., Caserio, Organic chemistry. California 1971, W. A. Benjamin, Inc. Menlo Park.
17. SEYMOUR, R.B., HERMAN, F.M., Application of Polymers. New York 1988, Plenum Press. 156 s.
18. TAMMELA, V., Polymeeritiede ja Muoviteknologia. Osa III, Otatiето 519. Helsinki 1990, Hakapaino Oy. 431 s.

## **Standardit**

19. SFS 3515 Lastulevyt. Ominaisuudet, 1978.
20. SFS 3516 Lastulevyt. Ominaisuuksien tutkiminen. 1978.
21. SFS 4152. Lastulevyt. V 313 -levyt. Vaatimukset. 1984.



## PURISTUSAJAT

10%

| Levy | Kuumapuristus | Kylmäpuristus |
|------|---------------|---------------|
| 1    | 3 min 44 s    | 3 min 38 s    |
| 2    | 2 min 8 s     | 3 min 24 s    |
| 3    | 1 min 32 s    | 4 min 6 s     |
| 4    | 3 min 35 s    | 3 min 59 s    |
| 5    | 3 min 31 s    | 4 min 11 s    |
| 6    | 3 min 50 s    | 3 min 59 s    |
| 7    | 4 min 3 s     | 4 min 23 s    |
| 8    | 3 min 18 s    | 3 min 45 s    |
| 9    | 2 min 27 s    | 2 min 41 s    |
| 10   | 2 min 13 s    | 3 min 33 s    |
| 11   | 3 min 25 s    | 3 min 51 s    |
| 12   | 2 min 50 s    | 1 min 34 s    |
| k.a. | 3 min 3 s     | 4 min 35 s    |
| s    | 0 min 46 s    | 0 min 44 s    |
| min. | 1 min 32 s    | 1 min 34 s    |
| max. | 4 min 3 s     | 4 min 23 s    |
| R    | 2 min 31 s    | 2 min 49 s    |

20%

| Levy | Kuumapuristus | Kylmäpuristus |
|------|---------------|---------------|
| 1    | 3 min 36 s    | 4 min 10 s    |
| 2    | 3 min 42 s    | 4 min 21 s    |
| 3    | 3 min 46 s    | 4 min 34 s    |
| 4    | 3 min 51 s    | 3 min 50 s    |
| 5    | 2 min 15 s    | 4 min 44 s    |
| 6    | 3 min 45 s    | 4 min 28 s    |
| 7    | 3 min 50 s    | 4 min 38 s    |
| 8    | 3 min 27 s    | 3 min 39 s    |
| 9    | 1 min 48 s    | 1 min 28 s    |
| 10   | 3 min 0 s     | 3 min 9 s     |
| 11   | 3 min 53 s    | 4 min 0 s     |
| 12   | 3 min 15 s    | 3 min 15 s    |
| k.a. | 3 min 21 s    | 3 min 51 s    |
| s    | 0 min 39 s    | 1 min 53 s    |
| min. | 1 min 48 s    | 1 min 28 s    |
| max. | 3 min 53 s    | 4 min 44 s    |
| R    | 2 min 5 s     | 3 min 16 s    |

30%

| Levy | Kuumapuristus | Kylmäpuristus |
|------|---------------|---------------|
| 1    | 2 min 45 s    | 2 min 54 s    |
| 2    | 2 min 25 s    | 3 min 0 s     |
| 3    | 2 min 20 s    | 2 min 31 s    |
| 4    | 2 min 10 s    | 2 min 18 s    |
| 5    | 4 min 0 s     | 4 min 5 s     |
| 6    | 2 min 10 s    | 2 min 15 s    |
| 7    | 1 min 15 s    | 1 min 15 s    |
| 8    | 3 min 30 s    | 3 min 47 s    |
| 9    | 3 min 16 s    | 3 min 48 s    |
| 10   | 3 min 47 s    | 3 min 51 s    |
| 11   | 4 min 33 s    | 4 min 0 s     |
| 12   | 3 min 0 s     | 3 min 25 s    |
| k.a. | 2 min 56 s    | 3 min 6 s     |
| s    | 0 min 54 s    | 0 min 51 s    |
| min. | 1 min 15 s    | 1 min 15 s    |
| max. | 4 min 33 s    | 4 min 5 s     |
| R    | 3 min 18 s    | 3 min 50 s    |

40%

| Levy | Kuumapuristus | Kylmäpuristus |
|------|---------------|---------------|
| 1    | 1 min 45 s    | 2 min 42 s    |
| 2    | 3 min 35 s    | 4 min 19 s    |
| 3    | 4 min 14 s    | 5 min 1 s     |
| 4    | 2 min 37 s    | 2 min 45 s    |
| 5    | 3 min 2 s     | 4 min 12 s    |
| 6    | 3 min 29 s    | 4 min 9 s     |
| 7    | 3 min 47 s    | 4 min 35 s    |
| 8    | 2 min 56 s    | 4 min 3 s     |
| 9    | 2 min 39 s    | 2 min 52 s    |
| 10   | 3 min 33 s    | 4 min 9 s     |
| 11   | 2 min 45 s    | 3 min 0 s     |
| 12   | 3 min 53 s    | 4 min 22 s    |
| k.a. | 3 min 11 s    | 3 min 51 s    |
| s    | 0 min 40 s    | 0 min 46 s    |
| min. | 1 min 45 s    | 2 min 42 s    |
| max. | 4 min 14 s    | 5 min 1 s     |
| R    | 2 min 29 s    | 2 min 19 s    |

# PURISTUSAJAT

50%

| Levy | Kuumapuristus |      |  | Kylmäpuristus |      |  |
|------|---------------|------|--|---------------|------|--|
| 1    | 3 min         | 15 s |  | 1 min         | 56 s |  |
| 2    | 3 min         | 54 s |  | 4 min         | 59 s |  |
| 3    | 3 min         | 30 s |  | 3 min         | 30 s |  |
| 4    | 4 min         | 14 s |  | 5 min         | 5 s  |  |
| 5    | 2 min         | 38 s |  | 3 min         | 28 s |  |
| 6    | 4 min         | 25 s |  | 6 min         | 1 s  |  |
| 7    | 3 min         | 33 s |  | 4 min         | 51 s |  |
| 8    | 4 min         | 12 s |  | 4 min         | 55 s |  |
| 9    | 4 min         | 16 s |  | 4 min         | 23 s |  |
| 10   | 3 min         | 42 s |  | 4 min         | 22 s |  |
| 11   | 3 min         | 40 s |  | 4 min         | 27 s |  |
| 12   | 3 min         | 15 s |  | 3 min         | 29 s |  |
| k.a. | 3 min         | 43 s |  | 4 min         | 17 s |  |
| s    | 0 min         | 30 s |  | 1 min         | 1 s  |  |
| min. | 2 min         | 38 s |  | 1 min         | 56 s |  |
| max. | 4 min         | 25 s |  | 6 min         | 1 s  |  |
| R    | 1 min         | 47 s |  | 4 min         | 5 s  |  |

60%

| Levy | Kuumapuristus |      |  | Kylmäpuristus |      |  |
|------|---------------|------|--|---------------|------|--|
| 1    | 3 min         | 17 s |  | 4 min         | 21 s |  |
| 2    | 4 min         | 14 s |  | 6 min         | 4 s  |  |
| 3    | 4 min         | 8 s  |  | 5 min         | 44 s |  |
| 4    | 4 min         | 0 s  |  | 6 min         | 15 s |  |
| 5    | 4 min         | 6 s  |  | 5 min         | 46 s |  |
| 6    | 3 min         | 0 s  |  | 2 min         | 14 s |  |
| 7    | 3 min         | 43 s |  | 5 min         | 41 s |  |
| 8    | 4 min         | 11 s |  | 6 min         | 12 s |  |
| 9    | 2 min         | 37 s |  | 3 min         | 5 s  |  |
| 10   | 4 min         | 12 s |  | 6 min         | 37 s |  |
| 11   | 3 min         | 0 s  |  | 2 min         | 50 s |  |
| 12   | 3 min         | 0 s  |  | 3 min         | 15 s |  |
| k.a. | 3 min         | 37 s |  | 4 min         | 50 s |  |
| s    | 0 min         | 34 s |  | 1 min         | 31 s |  |
| min. | 2 min         | 37 s |  | 2 min         | 14 s |  |
| max. | 4 min         | 14 s |  | 6 min         | 37 s |  |
| R    | 1 min         | 37 s |  | 4 min         | 23 s |  |

70%

| Levy | Kuumapuristus |      |  | Kylmäpuristus |      |  |
|------|---------------|------|--|---------------|------|--|
| 1    | 4 min         | 48 s |  | 5 min         | 48 s |  |
| 2    | 5 min         | 0 s  |  | 5 min         | 0 s  |  |
| 3    | 4 min         | 12 s |  | 4 min         | 52 s |  |
| 4    | 3 min         | 0 s  |  | 2 min         | 38 s |  |
| 5    | 2 min         | 37 s |  | 2 min         | 36 s |  |
| 6    | 4 min         | 34 s |  | 5 min         | 56 s |  |
| 7    | 3 min         | 22 s |  | 4 min         | 25 s |  |
| 8    | 3 min         | 20 s |  | 3 min         | 30 s |  |
| 9    | 3 min         | 47 s |  | 4 min         | 5 s  |  |
| 10   | 3 min         | 0 s  |  | 2 min         | 30 s |  |
| 11   | 3 min         | 53 s |  | 5 min         | 46 s |  |
| 12   | 3 min         | 0 s  |  | 2 min         | 51 s |  |
| k.a. | 3 min         | 43 s |  | 4 min         | 10 s |  |
| s    | 0 min         | 45 s |  | 1 min         | 16 s |  |
| min. | 2 min         | 37 s |  | 2 min         | 30 s |  |
| max. | 5 min         | 0 s  |  | 5 min         | 56 s |  |
| R    | 2 min         | 23 s |  | 3 min         | 26 s |  |

## B-SARJAN HIONTAHÄVIÖ

## Keskilastu

| Levy | alkupaino<br>g | loppupaino<br>g | poisto-%<br>% |
|------|----------------|-----------------|---------------|
| 1    | 984,6          | 923,9           | 6,16          |
| 2    | 956,6          | 903,8           | 5,52          |
| 3    | 959,2          | 896,9           | 6,49          |
| 4    | 958,1          | 893,4           | 6,75          |
| 5    | 951,6          | 893,2           | 6,14          |
| 6    | 957,3          | 903             | 5,67          |
| 7    | 981,9          | 946,1           | 3,65          |
| 8    | 970,3          | 926,4           | 4,52          |
| 9    | 970,7          | 926,7           | 4,53          |
| 10   | 965,7          | 921,1           | 4,62          |
| 11   | 958,2          | 911,2           | 4,91          |
| 12   | 944,2          | 883,7           | 6,41          |
| k.a. | 963,20         | 910,78          | 5,45          |
| s    | 11,41          | 17,49           | 0,94          |
| min. | 944,20         | 883,70          | 3,65          |
| max. | 984,60         | 946,10          | 6,75          |
| R    | 40,40          | 62,40           | 3,11          |

## Pintalastu

| Levy | alkupaino<br>g | loppupaino<br>g | poisto-%<br>% |
|------|----------------|-----------------|---------------|
| 1    | 882,8          | 830,9           | 5,88          |
| 2    | 865,6          | 820,6           | 5,20          |
| 3    | 858,5          | 832,1           | 3,08          |
| 4    | 850,2          | 821,4           | 3,39          |
| 5    | 864,2          | 827,5           | 4,25          |
| 6    | 842,8          | 807,3           | 4,21          |
| 7    | 867,4          | 811             | 6,50          |
| 8    | 851,7          | 827,3           | 2,86          |
| 9    | 857            | 811,2           | 5,34          |
| 10   | 855,4          | 798,7           | 6,63          |
| 11   | 875,8          | 823,1           | 6,02          |
| 12   | 840,2          | 810,7           | 3,51          |
| k.a. | 859,30         | 818,48          | 4,74          |
| s    | 12,09          | 10,08           | 1,30          |
| min. | 840,20         | 798,70          | 2,86          |
| max. | 882,80         | 832,10          | 6,63          |
| R    | 42,60          | 33,40           | 3,76          |

## Pöly

| Levy | alkupaino<br>g | loppupaino<br>g | poisto-%<br>% |
|------|----------------|-----------------|---------------|
| 1    | 869,1          | 823,7           | 5,22          |
| 2    | 859,1          | 837,4           | 2,53          |
| 3    | 871,7          | 841,6           | 3,45          |
| 4    | 874,5          | 826,6           | 5,48          |
| 5    | 862,9          | 822,4           | 4,69          |
| 6    | 850,8          | 822,4           | 3,34          |
| 7    | 877            | 846,5           | 3,48          |
| 8    | 865,8          | 822,4           | 5,01          |
| 9    | 841            | 802,8           | 4,54          |
| 10   | 868,7          | 828,2           | 4,66          |
| 11   | 861,1          | 820,9           | 4,67          |
| 12   | 850,3          | 809,1           | 4,85          |
| k.a. | 862,67         | 825,33          | 4,33          |
| s    | 10,38          | 11,86           | 0,87          |
| min. | 841,00         | 802,80          | 2,53          |
| max. | 877,00         | 846,50          | 5,48          |
| R    | 36,00          | 43,70           | 2,95          |

## Bauer-kuitu

| Levy | alkupaino<br>g | loppupaino<br>g | poisto-%<br>% |
|------|----------------|-----------------|---------------|
| 1    | 832,7          | 797,2           | 4,26          |
| 2    | 832            | 801,6           | 3,65          |
| 3    | 850            | 802,3           | 5,61          |
| 4    | 829,7          | 781,3           | 5,83          |
| 5    | 846,8          | 823             | 2,81          |
| 6    | 858,6          | 794,7           | 7,44          |
| 7    | 868,6          | 830,8           | 4,35          |
| 8    | 833,8          | 790,1           | 5,24          |
| 9    | 880,9          | 839,2           | 4,73          |
| 10   | 870,2          | 823,4           | 5,38          |
| 11   | 833,4          | 794             | 4,73          |
| 12   | 839,7          | 789             | 6,04          |
| k.a. | 848,03         | 805,55          | 5,01          |
| s    | 16,90          | 17,89           | 1,16          |
| min. | 829,70         | 781,30          | 2,81          |
| max. | 880,90         | 839,20          | 7,44          |
| R    | 51,20          | 57,90           | 4,63          |



## B-SARJAN HIONTAHÄVIÖ

| Strand      |           |            |          |
|-------------|-----------|------------|----------|
| Levy        | alkupaino | loppupaino | poisto-% |
|             | g         | g          | %        |
| 1.          | 1031      | 979,4      | 5,00     |
| 2           | 1060,8    | 905,2      | 14,67    |
| 3           | 1064,9    | 974,3      | 8,51     |
| 4           | 1083,4    | 961,4      | 11,26    |
| 5           | 1081,4    | 1013       | 6,33     |
| 6           | 1066,8    | 1001,3     | 6,14     |
| <b>k.a.</b> | 1064,72   | 972,43     | 8,65     |
| <b>s</b>    | 17,24     | 34,58      | 3,37     |
| <b>min.</b> | 1031,00   | 905,20     | 5,00     |
| <b>max.</b> | 1083,40   | 1013,00    | 14,67    |
| <b>R</b>    | 52,40     | 107,80     | 9,66     |

## A-SARJAN TULOKSET

10%

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 600    | 2,7      | 0,02   | 75,2    | 0,4    |
| 2    | 654    | 2,9      | 0,04   | 81,8    | 0,45   |
| 3    | 673    | 4,6      | 0,05   | 77,5    | 0,41   |
| 4    | 654    | 3,8      | 0,03   | 66,5    | 0,34   |
| 5    | 655    | 3,9      | 0,03   | 73,6    | 0,38   |
| 6    | 669    | 5,9      | 0,03   | 75,2    | 0,42   |
| 7    | 652    | 2,9      | 0,02   | 87,7    | 0,37   |
| 8    | 660    | 5,9      | 0,03   | 83,3    | 0,33   |
| 9    | 653    | 5,2      | 0,02   | 77      | 0,42   |
| 10   | 642    | 3,9      | 0,03   | 71,6    | 0,38   |
| 11   | 638    | 3,1      | 0,02   | 88,4    | 0,32   |
| 12   | 642    | 2,2      | 0,02   | 83,4    | 0,34   |
| k.a. | 649    | 3,92     | 0,03   | 78,43   | 0,38   |
| s    | 18     | 1,20     | 0,01   | 6,33    | 0,04   |
| min. | 600    | 2,2      | 0,02   | 66,5    | 0,32   |
| max. | 673    | 5,9      | 0,05   | 88,4    | 0,45   |
| R    | 73     | 3,7      | 0,03   | 21,9    | 0,13   |

## A-SARJAN TULOKSET

20%

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 683    | 7,3      | 0,09   | 37,5    | 0,23   |
| 2    | 681    | 8,4      | 0,09   | 44,4    | 0,21   |
| 3    | 663    | 6,6      | 0,09   | 36,3    | 0,21   |
| 4    | 696    | 9,2      | 0,12   | 33,4    | 0,24   |
| 5    | 678    | 7,1      | 0,1    | 40,1    | 0,21   |
| 6    | 690    | 8,9      | 0,13   | 35,8    | 0,21   |
| 7    | 712    | 9,5      | 0,15   | 37,8    | 0,21   |
| 8    | 696    | 8,2      | 0,11   | 37,4    | 0,29   |
| 9    | 686    | 8,4      | 0,12   | 33,5    | 0,28   |
| 10   | 702    | 9,4      | 0,12   | 36,4    | 0,23   |
| 11   | 705    | 9,9      | 0,12   | 36,3    | 0,22   |
| 12   | 687    | 8,9      | 0,13   | 38,6    | 0,23   |
| k.a. | 690    | 8,48     | 0,11   | 37,29   | 0,23   |
| s    | 13     | 0,99     | 0,02   | 2,81    | 0,03   |
| min. | 663    | 6,6      | 0,09   | 33,4    | 0,21   |
| max. | 712    | 9,9      | 0,15   | 44,4    | 0,29   |
| R    | 49     | 3,3      | 0,06   | 11      | 0,08   |

## A-SARJAN TULOKSET

30%

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 713    | 10,6     | 0,27   | 17,2    | 0,19   |
| 2    | 735    | 12       | 0,26   | 18,9    | 0,22   |
| 3    | 719    | 10,6     | 0,32   | 18,6    | 0,17   |
| 4    | 738    | 11,1     | 0,34   | 18,5    | 0,04   |
| 5    | 734    | 12,1     | 0,45   | 15,5    | 0,15   |
| 6    | 724    | 11,8     | 0,35   | 11,9    | 0,15   |
| 7    | 706    | 9        | 0,15   | 19,5    | 0,35   |
| 8    | 737    | 11,9     | 0,39   | 14,9    | 0,17   |
| 9    | 718    | 10,2     | 0,28   | 18,1    | 0,11   |
| 10   | 713    | 10,1     | 0,37   | 15,9    | 0,11   |
| 11   | 683    | 9,5      | 0,21   | 18,4    | 0,19   |
| 12   | 701    | 10,5     | 0,19   | 19,3    | 0,24   |
| k.a. | 718    | 10,78    | 0,30   | 17,23   | 0,17   |
| s    | 16     | 0,97     | 0,08   | 2,17    | 0,07   |
| min. | 683    | 9        | 0,15   | 11,9    | 0,04   |
| max. | 738    | 12,1     | 0,45   | 19,5    | 0,35   |
| R    | 55     | 3,1      | 0,3    | 7,6     | 0,31   |

## A-SARJAN TULOKSET

40%

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 739    | 13,2     | 0,53   | 11,8    | 0,34   |
| 2    | 740    | 12,4     | 0,42   | 12,8    | 0,4    |
| 3    | 728    | 11,8     | 0,49   | 12,8    | 0,12   |
| 4    | 753    | 12,5     | 0,63   | 13,8    | 0,2    |
| 5    | 749    | 9,1      | 0,75   | 13      | 0,21   |
| 6    | 739    | 12,3     | 0,55   | 13,2    | 0,1    |
| 7    | 727    | 11,7     | 0,68   | 13      | 0,43   |
| 8    | 744    | 11,6     | 0,64   | 13,5    | 0,11   |
| 9    | 773    | 12,5     | 0,85   | 13,9    | 0,12   |
| 10   | 728    | 10,8     | 0,62   | 16,5    | 0,12   |
| 11   | 737    | 11,3     | 0,67   | 12,2    | 0,1    |
| 12   | 723    | 10,6     | 0,51   | 12,7    | 0,14   |
| k.a. | 740    | 11,65    | 0,61   | 13,27   | 0,20   |
| s    | 13     | 1,05     | 0,11   | 1,13    | 0,12   |
| min. | 723    | 9,1      | 0,42   | 11,8    | 0,1    |
| max. | 773    | 13,2     | 0,85   | 16,5    | 0,43   |
| R    | 50     | 4,1      | 0,43   | 4,7     | 0,33   |



## A-SARJAN TULOKSET

50 %

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 767    | 13,1     | 0,82   | 9,2     | 0,13   |
| 2    | 760    | 13,4     | 1,06   | 10,2    | 0,14   |
| 3    | 751    | 10,3     | 0,65   | 10,4    | 0,08   |
| 4    | 760    | 11       | 0,73   | 10,6    | 0,14   |
| 5    | 775    | 11,8     | 0,24   | 10,9    | 0,1    |
| 6    | 764    | 12,8     | 1,07   | 9,7     | 0,1    |
| 7    | 753    | 11,1     | 0,86   | 10,2    | 0,12   |
| 8    | 759    | 12,7     | 1,03   | 9,3     | 0,11   |
| 9    | 750    | 11       | 0,99   | 9,9     | 0,11   |
| 10   | 752    | 11,9     | 0,85   | 9,8     | 0,11   |
| 11   | 776    | 13       | 1,11   | 9,4     | 0,1    |
| 12   | 762    | 12       | 1,07   | 9,7     | 0,14   |
| k.a. | 761    | 12,01    | 0,87   | 9,94    | 0,12   |
| s    | 8      | 0,96     | 0,24   | 0,51    | 0,02   |
| min. | 750    | 10,3     | 0,24   | 9,2     | 0,08   |
| max. | 776    | 13,4     | 1,11   | 10,9    | 0,14   |
| R    | 26     | 3,1      | 0,87   | 1,7     | 0,06   |

## A-SARJAN TULOKSET

60 %

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 822    | 13,8     | 0,99   | 7,3     | 0,05   |
| 2    | 824    | 14,6     | 0,88   | 6,4     | 0,01   |
| 3    | 826    | 15,1     | 1,05   | 7,4     | 0,1    |
| 4    | 796    | 14,1     | 0,8    | 7,8     | 0,05   |
| 5    | 824    | 14       | 0,91   | 7       | 0,04   |
| 6    | 809    | 16,1     | 0,88   | 7,1     | 0,04   |
| 7    | 790    | 13,9     | 0,9    | 6,8     | 0,05   |
| 8    | 829    | 15,3     | 1,02   | 2,3     | 0,07   |
| 9    | 806    | 14,5     | 1,12   | 8       | 0,01   |
| 10   | 798    | 14,5     | 1,02   | 6,8     | 0,11   |
| 11   | 808    | 15,2     | 1,13   | 6,3     | 0,04   |
| 12   | 814    | 14,9     | 1,2    |         | 0,07   |
| k.a. | 812    | 14,67    | 0,99   | 6,65    | 0,05   |
| s    | 12     | 0,65     | 0,12   | 1,46    | 0,03   |
| min. | 790    | 13,8     | 0,8    | 2,3     | 0,01   |
| max. | 829    | 16,1     | 1,2    | 8       | 0,11   |
| R    | 39     | 2,3      | 0,4    | 5,7     | 0,1    |

## A-SARJAN TULOKSET

70%

| Levy | Tiheys | Taivutus | P-veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|--------|---------|--------|
| 1    | 845    | 12,7     | 1,04   | 6,6     | 0,02   |
| 2    | 793    | 9,9      | 1      | 5,7     | 0,01   |
| 3    | 817    | 13,1     | 1,2    | 6,5     | 0,01   |
| 4    | 839    | 13,1     | 1,03   | 7,9     | 0,08   |
| 5    | 814    | 11,1     | 1,05   | 5,5     | 0,03   |
| 6    | 838    | 13,7     | 0,97   | 6,6     | 0,03   |
| 7    | 833    | 12,4     | 1,1    | 6,3     | 0,05   |
| 8    | 829    | 11,6     | 1,15   | 3       | 0,11   |
| 9    | 823    | 12,1     | 1,11   | 6,7     | 0,03   |
| 10   | 830    | 11,5     | 1,08   | 6,8     | 0,03   |
| 11   | 802    | 11,2     | 1,01   | 6,5     | 0,05   |
| 12   | 803    | 11,9     | 1,11   | 7       | 0,06   |
| k.a. | 822    | 12,03    | 1,07   | 6,26    | 0,04   |
| s    | 16     | 1,01     | 0,06   | 1,14    | 0,03   |
| min. | 793    | 9,9      | 0,97   | 3       | 0,01   |
| max. | 845    | 13,7     | 1,2    | 7,9     | 0,11   |
| R    | 52     | 3,8      | 0,23   | 4,9     | 0,1    |

## B-SARJAN TULOKSET

| Levy | Tiheys | Taivutus | Veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|------|---------|--------|
| 1    | 1359   | 14,4     | 0,98 | 13,9    | 0,01   |
| 2    | 816    | 13,2     | 0,75 | 15,4    | 0,02   |
| 3    | 801    | 12,3     | 0,82 | 15,8    | 0,02   |
| 4    | 789    | 13,4     | 0,72 | 16,6    | 0,02   |
| 5    | 808    | 14,9     | 0,87 | 15,2    | 0,02   |
| 6    | 822    | 13,7     | 0,81 | 15,2    | 0,02   |
| 7    | 811    | 15,3     | 0,73 | 14,7    | 0,02   |
| 8    | 830    | 15       | 0,83 | 16,1    | 0,02   |
| 9    | 830    | 15       | 0,78 | 15,6    | 0,02   |
| 10   | 800    | 15,2     | 0,69 | 12,8    | 0,02   |
| 11   | 828    | 15,7     | 0,72 | 14,9    | 0,02   |
| 12   | 835    | 13,2     | 0,65 | 13,7    | 0,02   |
| k.a. | 861    | 14,28    | 0,78 | 14,99   | 0,02   |
| s    | 151    | 1,03     | 0,09 | 1,03    | 0,00   |
| min. | 789    | 12,3     | 0,65 | 12,8    | 0,01   |
| max. | 1359   | 15,7     | 0,98 | 16,6    | 0,02   |
| R    | 570    | 3,4      | 0,33 | 3,8     | 0,01   |

## B-SARJAN TULOKSET

| Levy | Tiheys | Taivutus | Veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|------|---------|--------|
| 1    | 820    | 10,6     | 0,49 | 15,2    | 0,02   |
| 2    | 821    | 11,7     | 0,57 | 13,5    | 0,02   |
| 3    | 861    | 13,4     | 0,68 | 14,4    | 0,02   |
| 4    | 850    | 12,4     | 0,67 | 13,9    | 0,02   |
| 5    | 825    | 11,8     | 0,51 | 13,4    | 0,01   |
| 6    | 824    | 11,8     | 0,4  | 13,2    | 0,02   |
| 7    | 806    | 11       | 0,46 | 14,1    | 0,01   |
| 8    | 852    | 13,2     | 0,65 | 13,2    | 0,02   |
| 9    | 831    | 11,2     | 0,6  | 13,7    | 0,02   |
| 10   | 821    | 11       | 0,51 | 14      | 0,02   |
| 11   | 821    | 13,2     | 0,56 | 13,4    | 0,02   |
| 12   | 842    | 12,3     | 0,63 | 13,4    | 0,02   |
| k.a. | 831    | 11,97    | 0,56 | 13,78   | 0,02   |
| s    | 16     | 0,91     | 0,08 | 0,56    | 0,00   |
| min. | 806    | 10,6     | 0,4  | 13,2    | 0,01   |
| max. | 861    | 13,4     | 0,68 | 15,2    | 0,02   |
| R    | 55     | 2,8      | 0,28 | 2       | 0,01   |



## B-SARJAN TULOKSET

| Levy | Tiheys | Taivutus | Veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|------|---------|--------|
| 1    | 860    | 8        | 0,28 | 11,8    | 0,03   |
| 2    | 861    | 8        | 0,26 | 12      | 0,03   |
| 3    | 878    | 8,8      | 0,28 | 12,6    | 0,03   |
| 4    | 810    | 5,5      | 0,2  | 11,7    | 0,03   |
| 5    | 855    | 8,5      | 0,24 | 12,4    | 0,02   |
| 6    | 844    | 8,1      | 0,17 | 12,7    | 0,03   |
| 7    | 830    | 8        | 0,21 | 12,2    | 0,02   |
| 8    | 856    | 7,6      | 0,31 | 12,8    | 0,02   |
| 9    | 858    | 7,8      | 0,25 | 14,7    | 0,03   |
| 10   | 852    | 8,9      | 0,25 | 13      | 0,02   |
| 11   | 863    | 8,9      | 0,23 | 13      | 0,02   |
| 12   | 845    | 7,1      | 0,24 | 13,5    | 0,03   |
| k.a. | 851    | 7,93     | 0,24 | 12,70   | 0,03   |
| s    | 17     | 0,90     | 0,04 | 0,79    | 0,00   |
| min. | 810    | 5,5      | 0,17 | 11,7    | 0,02   |
| max. | 878    | 8,9      | 0,31 | 14,7    | 0,03   |
| R    | 68     | 3,4      | 0,14 | 3       | 0,01   |

## B-SARJAN TULOKSET

| Levy | Tiheys | Taivutus | Veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|------|---------|--------|
| 1    | 852    | 12,3     | 0,71 | 13,3    | 0,02   |
| 2    | 834    | 10,5     | 0,77 | 12,8    | 0,02   |
| 3    | 833    | 10,8     | 0,67 | 13,9    | 0,01   |
| 4    | 808    | 12,2     | 0,46 | 13,3    | 0,01   |
| 5    | 851    | 11,5     | 0,73 | 13,6    | 0,01   |
| 6    | 935    | 13,3     | 0,81 | 12,7    | 0,02   |
| 7    | 863    | 13,8     | 0,69 | 14,5    | 0,02   |
| 8    | 808    | 9,8      | 0,51 | 14,9    | 0,02   |
| 9    | 844    | 11,1     | 0,63 | 13,6    | 0,02   |
| 10   | 840    | 13,4     | 0,68 | 13,4    | 0,01   |
| 11   | 843    | 11,2     | 0,65 | 13,6    | 0,01   |
| 12   | 792    | 9,3      | 0,46 | 14      | 0,01   |
| k.a. | 842    | 11,60    | 0,65 | 13,63   | 0,02   |
| s    | 34     | 1,37     | 0,11 | 0,61    | 0,00   |
| min. | 792    | 9,3      | 0,46 | 12,7    | 0,01   |
| max. | 935    | 13,8     | 0,81 | 14,9    | 0,02   |
| R    | 143    | 4,5      | 0,35 | 2,2     | 0,01   |

## B-SARJAN TULOKSET

| Levy | Tiheys | Taivutus | Veto | Paksuus | Pituus |
|------|--------|----------|------|---------|--------|
| 1    | 892    | 20,5     | 0,13 | 62      | 0,01   |
| 2    | 827    | 15,4     | 0,07 | 85,3    | 0,01   |
| 3    | 845    | 18,7     | 0,15 | 33,3    | 0,01   |
| 4    | 843    | 15,7     | 0,09 | 68,9    | 0,02   |
| 5    | 902    | 22,1     | 0,18 | 49,3    | 0,01   |
| 6    | 869    | 10,7     | 0,14 | 24,9    | 0,01   |
| k.a. | 863    | 17,18    | 0,13 | 53,95   | 0,01   |
| s    | 27     | 3,76     | 0,04 | 20,67   | 0,00   |
| min. | 827    | 10,7     | 0,07 | 24,9    | 0,01   |
| max. | 902    | 22,1     | 0,18 | 85,3    | 0,02   |
| R    | 75     | 11,4     | 0,11 | 60,4    | 0,01   |

ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA

TAIVUTUSLUJUUS

| Muoviosuus | N  | Yhteensä | Keskiarvo | Varianssi |
|------------|----|----------|-----------|-----------|
| 20%        | 12 | 101,8    | 8,4833333 | 1,0633333 |
| 30%        | 12 | 129,4    | 10,783333 | 1,0342424 |

ANOVA

Varianssilähde

|                               | SS        | df | MS        | F         | P-arvo   | F kriittinen |
|-------------------------------|-----------|----|-----------|-----------|----------|--------------|
| Ryhmi <span>en</span> välillä | 31,74     | 1  | 31,74     | 30,263508 | 1,58E-05 | 4,3009436    |
| Ryhmi <span>en</span> sisällä | 23,073333 | 22 | 1,0487879 |           |          |              |
| Yhteensä                      | 54,813333 | 23 |           |           |          |              |

t-Testi erisuurille variansseille

|                          | 20%       | 30%       |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Otoskeskiarvo            | 8,4833333 | 10,783333 |
| Otosvarianssi            | 1,0633333 | 1,0342424 |
| Otosten lukumäärä        | 12        | 12        |
| Pearsonin korrelaatio    | -0,464072 |           |
| Yhteisvarianssi          | 3,5       |           |
| Vapausasteet df          | 21,995769 |           |
| t                        | -5,501228 |           |
| Yksipuoleinen P-arvo     | 9,27E-06  |           |
| t, beta (yksipuoleinen)  | 1,7207435 |           |
| Kaksipuoleinen P-arvo    | 1,854E-05 |           |
| t, alfa (kaksipuoleinen) | 2,0796142 |           |
| Luottamusväli alfa       | 0,05      |           |

Vertailusuure

0,8905054

Otoskeskiarvojen ero

2,3

Johtopäätökset

Koska otoska:n ero > vertailusuure  
on taivutuslujuus suurempi prosenttiosuudella 30 % kuin 20 %  
kun luottamusväli on 95 %



ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA

POIKITTAISVETOLUJUUS

| Muoviosuus | N  | Yhteensä | Keskiarvo | Varianssi |
|------------|----|----------|-----------|-----------|
| 30%        | 12 | 3,58     | 0,2983333 | 0,0077788 |
| 40%        | 12 | 7,34     | 0,6116667 | 0,0143242 |

ANOVA

Varianssilähde

|                | SS        | df | MS        | F         | P-arvo    | F kriittinen |
|----------------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Ryhmiä välillä | 0,5890667 | 1  | 0,5890667 | 53,301892 | 2,603E-07 | 4,3009436    |
| Ryhmiä sisällä | 0,2431333 | 22 | 0,0110515 |           |           |              |
| Yhteensä       | 0,8322    | 23 |           |           |           |              |

t-Testi erisuurille variansseille

|                          | 30%       | 40%       |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Otoskeskiarvo            | 0,2983333 | 0,6116667 |
| Otosvarianssi            | 0,0077788 | 0,0143242 |
| Otosten lukumäärä        | 12        | 12        |
| Pearsonin korrelaatio    | 0,1733929 |           |
| Yhteisvarianssi          | 3,5       |           |
| Vapausasteet df          | 20,226254 |           |
| t                        | -7,300814 |           |
| Yksipuoleinen P-arvo     | 2,324E-07 |           |
| t, beta (yksipuoleinen)  | 2,845336  |           |
| Kaksipuoleinen P-arvo    | 4,647E-07 |           |
| t, alfa (kaksipuoleinen) | 3,1534    |           |
| Luottamusväli alfa       | 0,005     |           |

Vertailusuure

0,0148381

Otoskeskiarvojen ero

0,3133333

Johtopäätökset

Koska otoska:n ero > vertailusuure  
on poikittaisvetolujuus suurempi prosenttiosuudella 40 % kuin 30 %  
kun luottamusväli on 99,5 %

ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA

PAKSUUSTURPOAMA

| Muoviosuus | N  | Yhteensä | Keskiarvo | Varianssi |
|------------|----|----------|-----------|-----------|
| 40%        | 12 | 159,2    | 13,266667 | 1,3987879 |
| 50%        | 12 | 119,3    | 9,9416667 | 0,2808333 |

ANOVA

Varianssilähde

|                               | SS        | df | MS        | F         | P-arvo    | F kriittinen |
|-------------------------------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Ryhmi <span>en</span> välillä | 66,33375  | 1  | 66,33375  | 78,986559 | 9,863E-09 | 4,3009436    |
| Ryhmi <span>en</span> sisällä | 18,475833 | 22 | 0,8398106 |           |           |              |
| Yhteensä                      | 84,809583 | 23 |           |           |           |              |

t-Testi erisuurille variansseille

|                          | 40%       | 50%       |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Otoskeskiarvo            | 13,266667 | 9,9416667 |
| Otosvarianssi            | 1,3987879 | 0,2808333 |
| Otosten lukumäärä        | 12        | 12        |
| Pearsonin korrelaatio    | 0,1271574 |           |
| Yhteisvarianssi          | 3,5       |           |
| Vapausasteet df          | 15,24578  |           |
| t                        | 8,8874383 |           |
| Yksipuoleinen P-arvo     | 1,152E-07 |           |
| t, beta (yksipuoleinen)  | 1,753051  |           |
| Kaksipuoleinen P-arvo    | 2,303E-07 |           |
| t, alfa (kaksipuoleinen) | 2,1314509 |           |
| Luottamusväli alfa       | 0,05      |           |

Vertailusuure

0,8778445

Otoskeskiarvojen ero

3,325

Johtopäätökset

Koska otoska:n ero > vertailusuure  
on paksuusturpoama suurempi prosenttiosuudella 40 % kuin 50 %  
kun luottamusväli on 95 %

## ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA

## PITUUSTURPOAMA

| <i>Muoviosuus</i> | <i>N</i> | <i>Yhteensä</i> | <i>Keskiarvo</i> | <i>Varianssi</i> |
|-------------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| 50%               | 12       | 1.38            | 0.115            | 0.0003727        |
| 60%               | 12       | 0.64            | 0.0533333        | 0.0009333        |

## ANOVA

| Varianssilähde | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-arvo</i> | <i>F kriittinen</i> |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| Ryhmiä välillä | 0.0228167 | 1         | 0.0228167 | 34.939675 | 6E-06         | 4.3009436           |
| Ryhmiä sisällä | 0.0143667 | 22        | 0.000653  |           |               |                     |
| Yhteensä       | 0.0371833 | 23        |           |           |               |                     |

## t-Testi erisuurille variansseille

|                          | <i>50%</i> | <i>60%</i> |
|--------------------------|------------|------------|
| Otoskeskiarvo            | 0.115      | 0.0533333  |
| Otosvarianssi            | 0.0003727  | 0.0009333  |
| Otosten lukumäärä        | 12         | 12         |
| Pearsonin korrelaatio    | -0.308264  |            |
| Yhteisvarianssi          | 3.5        |            |
| Vapausasteet df          | 18.577282  |            |
| t                        | 5.9109792  |            |
| Yksipuoleinen P-arvo     | 6.765E-06  |            |
| t, beta (yksipuoleinen)  | 2.8784416  |            |
| Kaksipuoleinen P-arvo    | 1.353E-05  |            |
| t, alfa (kaksipuoleinen) | 3.1965828  |            |
| Luottamusväli alfa       | 0.005      |            |

## Vertailusuure

0.0009274

## Otoskeskiarvojen ero

0.0616667

## Johtopäätökset

Koska otoska:n ero > vertailusuure  
on pituusturpoama suurempi prosenttiosuudella 50 % kuin 60 %  
kun luottamusväli on 99,5 %.



# ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA (B-SARJA)

## TAIVUTUSLUJUUS

| <i>Keskilastu</i> | <i>N</i> | <i>Yhteensä</i> | <i>Keskiarvo</i> | <i>Varianssi</i> |
|-------------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Keskilastu        | 12       | 171.3           | 14.275           | 1.1547727        |
| Pintalastu        | 12       | 143.6           | 11.966667        | 0.8951515        |

## ANOVA

| <i>Varianssilähde</i> | <i>SS</i>  | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-arvo</i> | <i>F kriittinen</i> |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| Ryhmiä välillä        | 31.9704167 | 1         | 31.970417 | 31.191803 | 1.294E-05     | 4.3009436           |
| Ryhmiä sisällä        | 22.5491667 | 22        | 1.0249621 |           |               |                     |
| Yhteensä              | 54.5195833 | 23        |           |           |               |                     |

## t-Testi erisuurille variansseille

|                         | <i>Keskilastu</i> | <i>Pintalastu</i> |
|-------------------------|-------------------|-------------------|
| Otoskeskiarvo           | 14.275            | 11.966667         |
| Otosvarianssi           | 1.15477273        | 0.8951515         |
| Otosten lukumäärä       | 12                | 12                |
| Pearsonin korrelaatio   | -0.290599         |                   |
| Yhteisvarianssi         | 3.5               |                   |
| Vapausasteet df         | 21.6526906        |                   |
| t                       | 5.58496223        |                   |
| Yksipuolinen P-arvo     | 7.6372E-06        |                   |
| t, beta (yksipuolinen)  | 1.72074351        |                   |
| Kaksipuolinen P-arvo    | 1.5274E-05        |                   |
| t, alfa (kaksipuolinen) | 2.07961421        |                   |
| Luottamusväli alfa      | 0.05              |                   |

## Vertailusuure

6.4424E-06

## Otoskeskiarvojen ero

0.25962121

## Johtopäätökset

Koska otoska > vertailusuure, on taivutuslujuus suurempi keskilastulla kuin pintalastulla kun luottamusväli on 95 %.

## ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA (B-SARJA)

## POIKITTAISVETOLUJUUS

| <i>Keskilastu</i> | <i>N</i> | <i>Yhteensä</i> | <i>Keskiarvo</i> | <i>Varianssi</i> |
|-------------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Pintalastu        | 12       | 6.73            | 0.5608333        | 0.0078811        |
| Pöly              | 12       | 2.92            | 0.2433333        | 0.0014606        |

## ANOVA

| <i>Varianssilähde</i> | <i>SS</i>   | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-arvo</i> | <i>F kriittinen</i> |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| Ryhmien välillä       | 0.6048375   | 1         | 0.6048375 | 129.49242 | 1.094E-10     | 4.3009436           |
| Ryhmien sisällä       | 0.102758333 | 22        | 0.0046708 |           |               |                     |
| Yhteensä              | 0.707595833 | 23        |           |           |               |                     |

## t-Testi erisuurille variansseille

|                         | <i>Pintalastu</i> | <i>Pöly</i> |
|-------------------------|-------------------|-------------|
| Otoskeskiarvo           | 0.560833333       | 0.243333333 |
| Otosvarianssi           | 0.007881061       | 0.00146061  |
| Otosten lukumäärä       | 12                | 12          |
| Pearsonin korrelaatio   | 0.48676986        |             |
| Yhteisvarianssi         | 3.5               |             |
| Vapausasteet df         | 14.94189077       |             |
| t                       | 11.37947352       |             |
| Yksipuolinen P-arvo     | 9.21702E-09       |             |
| t, beta (yksipuolinen)  | 1.76130925        |             |
| Kaksipuolinen P-arvo    | 1.8434E-08        |             |
| t, alfa (kaksipuolinen) | 2.144788596       |             |
| Luottamusväli alfa      | 0.05              |             |

## Vertailusuure

4.26528E-11

## Otoskeskiarvojen ero

0.006420455

## Johtopäätökset

Koska otoska > vertailusuure, on poikittaisvetolujuus suurempi pintalastulla kuin pölyllä kun luottamusväli on 95 %.

## ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA (B-SARJA)

## PAKSUUSTURPOAMA

| <i>Keskilastu</i> | <i>N</i> | <i>Yhteensä</i> | <i>Keskiarvo</i> | <i>Varianssi</i> |
|-------------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Pöly              | 12       | 152.4           | 12.7             | 0.68             |
| Bauer-kuitu       | 12       | 163.6           | 13.633333        | 0.4006061        |

## ANOVA

| <i>Varianssilähde</i> | <i>SS</i>   | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-arvo</i> | <i>F kriittinen</i> |
|-----------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| Ryhmiä välillä        | 5.226666667 | 1         | 5.2266667 | 9.6735838 | 0.0051015     | 4.3009436           |
| Ryhmiä sisällä        | 11.88666667 | 22        | 0.540303  |           |               |                     |
| Yhteensä              | 17.11333333 | 23        |           |           |               |                     |

## t-Testi erisuurille variansseille

|                         | <i>Pöly</i> | <i>Kuitu</i> |
|-------------------------|-------------|--------------|
| Otoskeskiarvo           | 12.7        | 13.6333333   |
| Otosvarianssi           | 0.68        | 0.40060606   |
| Otosten lukumäärä       | 12          | 12           |
| Pearsonin korrelaatio   | 0.181145454 |              |
| Yhteisvarianssi         | 3.5         |              |
| Vapausasteet df         | 20.62146237 |              |
| t                       | -3.11023855 |              |
| Yksipuolinen P-arvo     | 0.002757642 |              |
| t, beta (yksipuolinen)  | 1.724718004 |              |
| Kaksipuolinen P-arvo    | 0.005515283 |              |
| t, alfa (kaksipuolinen) | 2.085962478 |              |
| Luottamusväli alfa      | 0.05        |              |

## Vertailusuure

0.001256554

## Otoskeskiarvojen ero

0.279393939

## Johtopäätökset

Koska otoska > vertailusuure, on paksuusturpoama suurempi pölyllä kuin kuidulla kun luottamusväli on 95 %.



## ESIMERKKI TILASTOLLISESTA TARKASTELUSTA (B-SARJA)

## PITUUSTURPOAMA

| <i>Keskilastu</i> | <i>N</i> | <i>Yhteensä</i> | <i>Keskiarvo</i> | <i>Varianssi</i> |
|-------------------|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Bauer-kuitu       | 6        | 0.09            | 0.015            | 3E-05            |
| Strand            | 6        | 0.07            | 0.0116667        | 1.667E-05        |

## ANOVA

| <i>Varianssilähde</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i>  | <i>P-arvo</i> | <i>F kriittinen</i> |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------------|
| Ryhmiä välillä        | 3.333E-05 | 1         | 3.333E-05 | 1.4285714 | 0.2595729     | 4.9645905           |
| Ryhmiä sisällä        | 0.0002333 | 10        | 2.333E-05 |           |               |                     |
| Yhteensä              | 0.0002667 | 11        |           |           |               |                     |

## t-Testi erisuurille variansseille

|                         | <i>Kuitu</i> | <i>Strand</i> |
|-------------------------|--------------|---------------|
| Otoskeskiarvo           | 0.015        | 0.0116667     |
| Otosvarianssi           | 3E-05        | 1.667E-05     |
| Otosten lukumäärä       | 6            | 6             |
| Pearsonin korrelaatio   | -0.447214    |               |
| Yhteisvarianssi         | 3.5          |               |
| Vapausasteet df         | 9.245283     |               |
| t                       | 1.1952286    |               |
| Yksipuolinen P-arvo     | 0.1312705    |               |
| t, beta (yksipuolinen)  | 1.8331139    |               |
| Kaksipuolinen P-arvo    | 0.2625411    |               |
| t, alfa (kaksipuolinen) | 2.2621589    |               |
| Luottamusväli alfa      | 0.05         |               |

## Vertailusuure

3.678E-06

## Otoskeskiarvojen ero

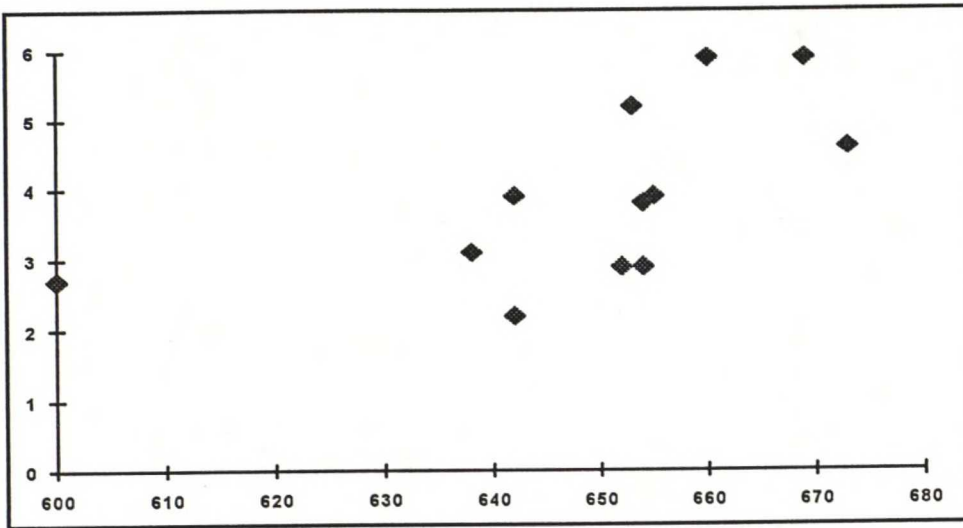
1.333E-05

## Johtopäätökset

Koska otoska:n itseisarvo > vertailusuure, on pituusturpoama suurempi kuidulla kuin strandilla kun luottamusväli on 95 %.

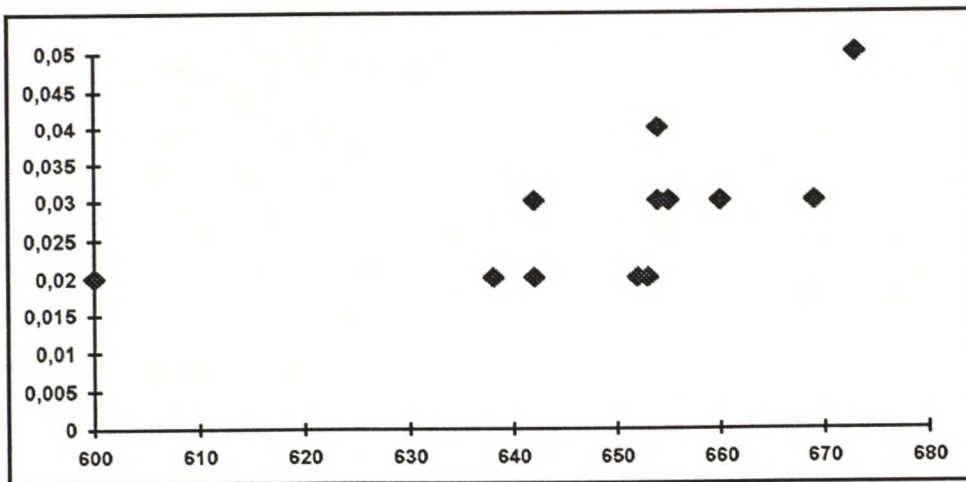
### TIHEYDEN VAIKUTUS A-SARJAN LEVYIHIN

Tiheyden vaikutusta levyjen lujuus- ja turpoamaominaisuuksiin on kuvattu kaavioilla, joissa jokaiselle levytyypille on esitetty ominaisuus tiheyden funktiona. Koska eri ominaisuuksien väliset erot ovat itseisarvollisesti huomattavia, on jokaiselle ominaisuudelle tehty oma kuvansa.



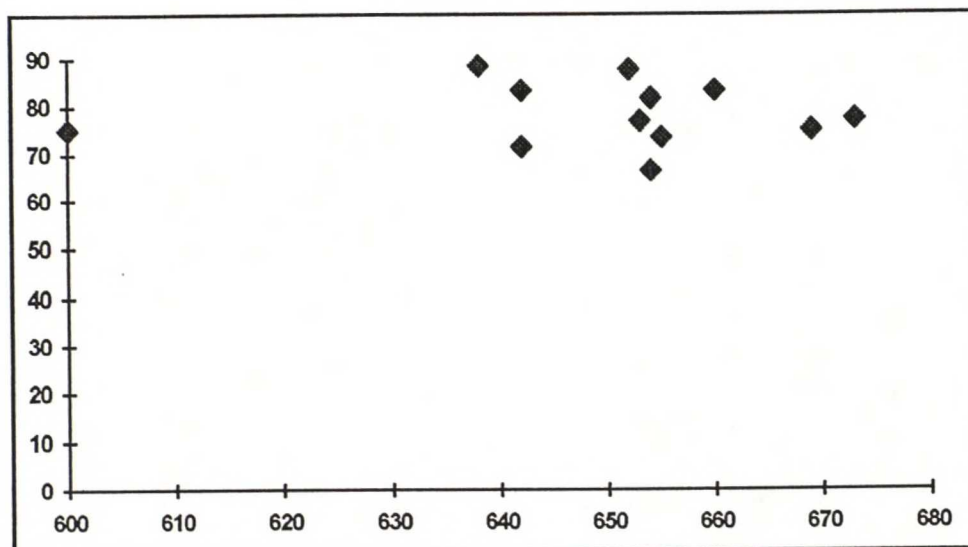
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 10 % )

Tiheyden kasvaessa taivutuslujuus kasvaa, kun muoviosuus on 10 %. Kasvu on koekappaleilla lähes eksponentiaalinen.



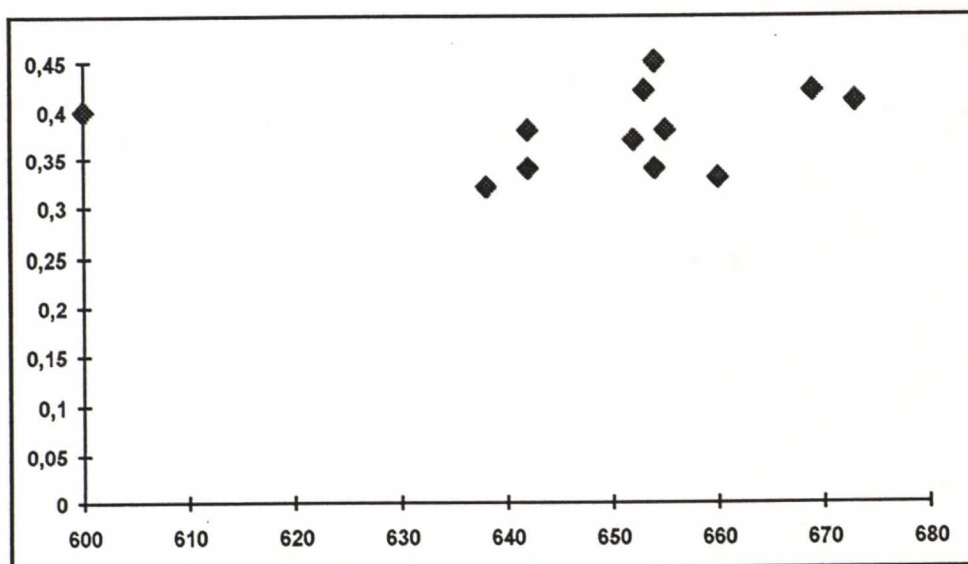
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuteen ( 10 % )

Muoviosuudella 10 % tiheyden kasvu lisää poikittaisvetolujuutta.



Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan (10 %)

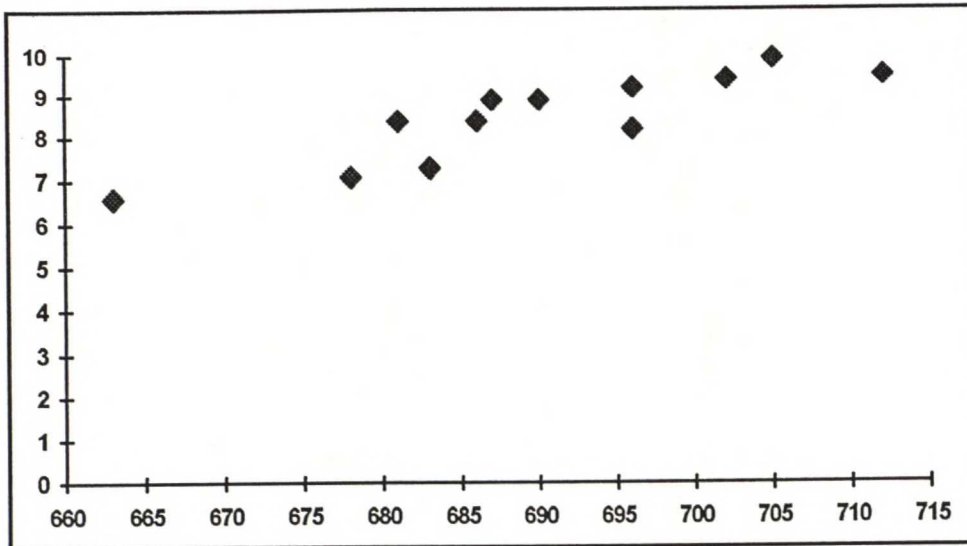
Paksuusturpoama pysyy lähes vakiona tiheydestä riippumatta, kun muovia on levystä 10 %. Paksuusturpoamaan vaikuttaa enemmän pintalastun liiman säänkestävyys.



Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 10 % )

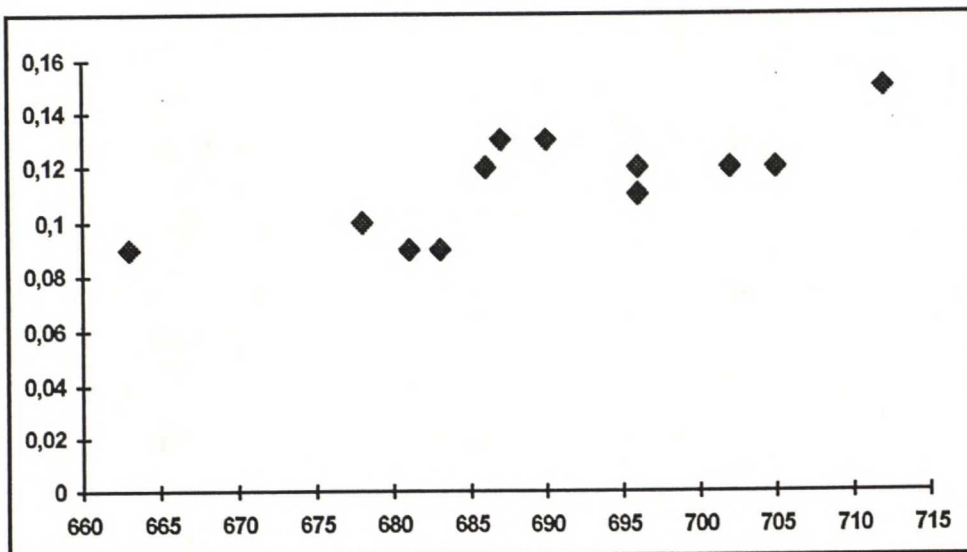
Pituusturpoama pysyy suhteellisen tasaisena tiheyden muutoksista riippumatta muoviosuudella 10 %





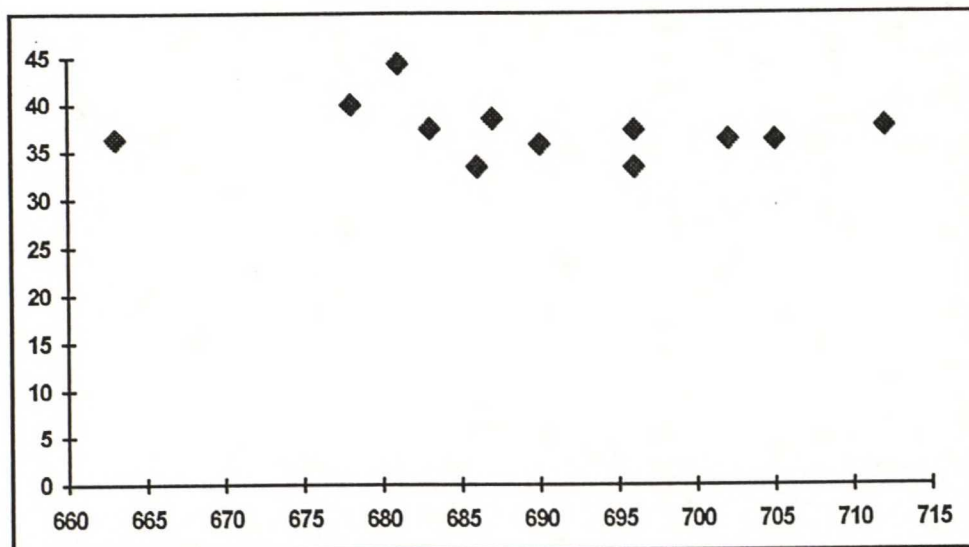
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 20 % )

Taivutuslujuus kasvaa lineaarisesti tiheyden funktiona muoviosuudella 20 %.  
Nousu ei ole suuri, mutta se on tasainen.



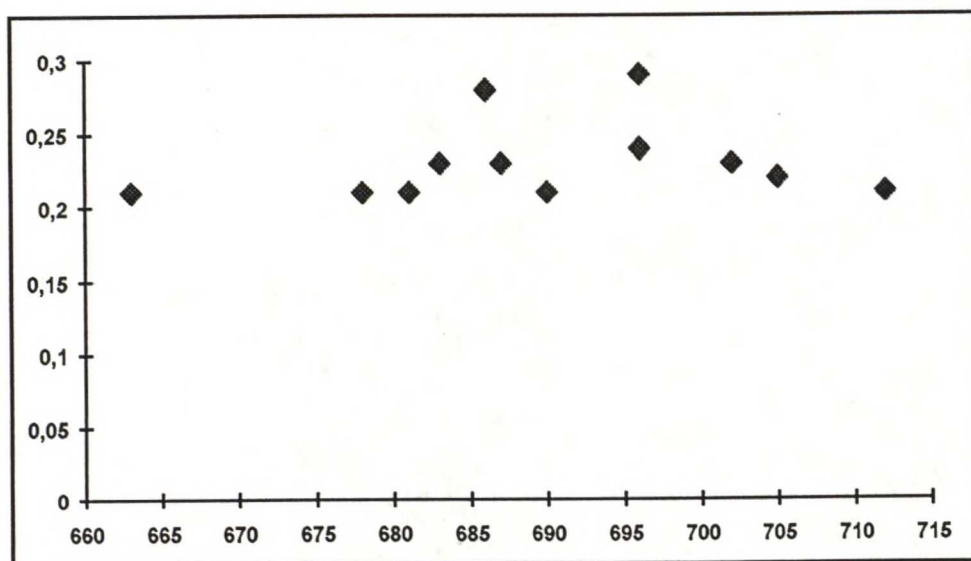
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 20 % )

Kun levyissä on muovia 20 %, kasvaa poikittaisvetolujuus lineaarisesti tiheyden kasvaessa.



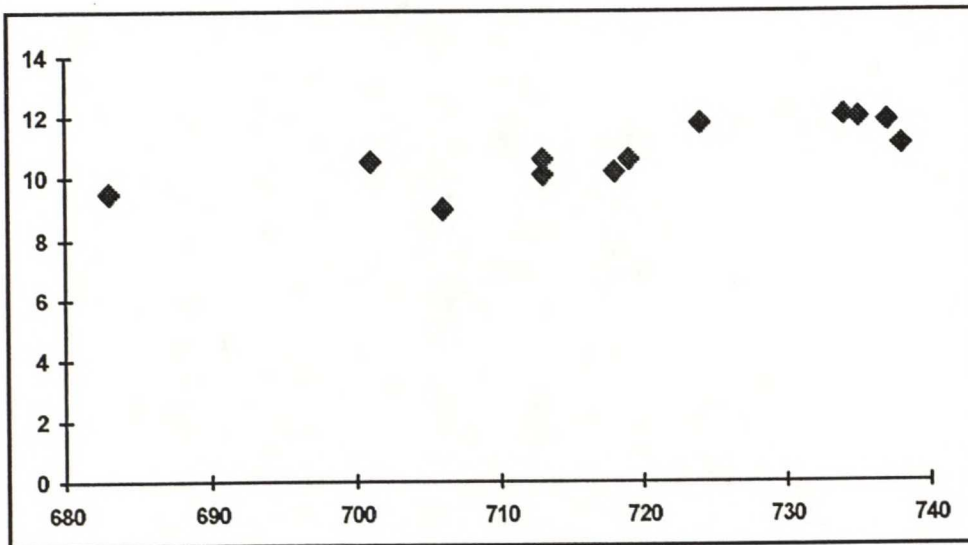
Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 20 % )

Paksuusturpoama ei juuri muutu tiheyden muuttuessa muoviosuudella 20 %.



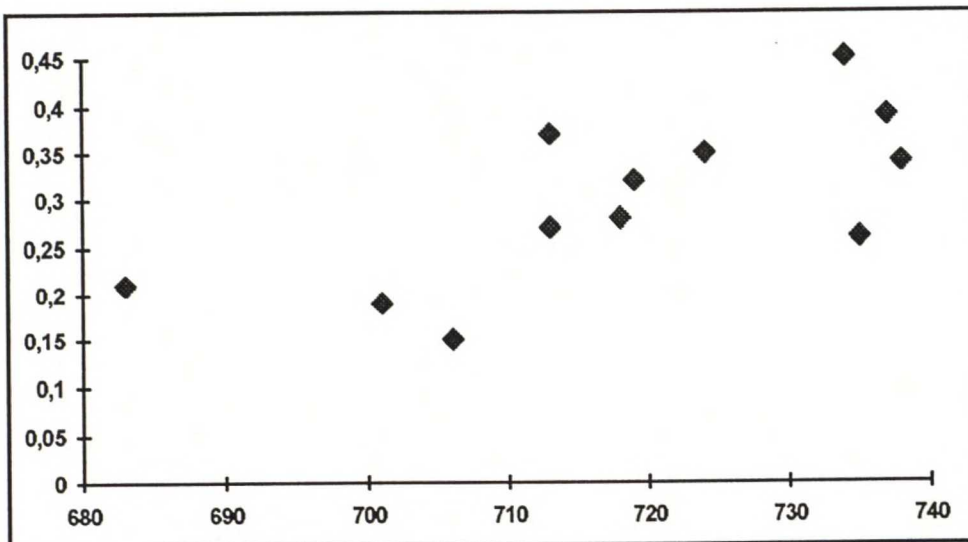
Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 20 % )

Muoviosuudella 20 % ei tiheyden muutos vaikuta merkittävästi pituusturpoaman muutokseen.



Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 30 % )

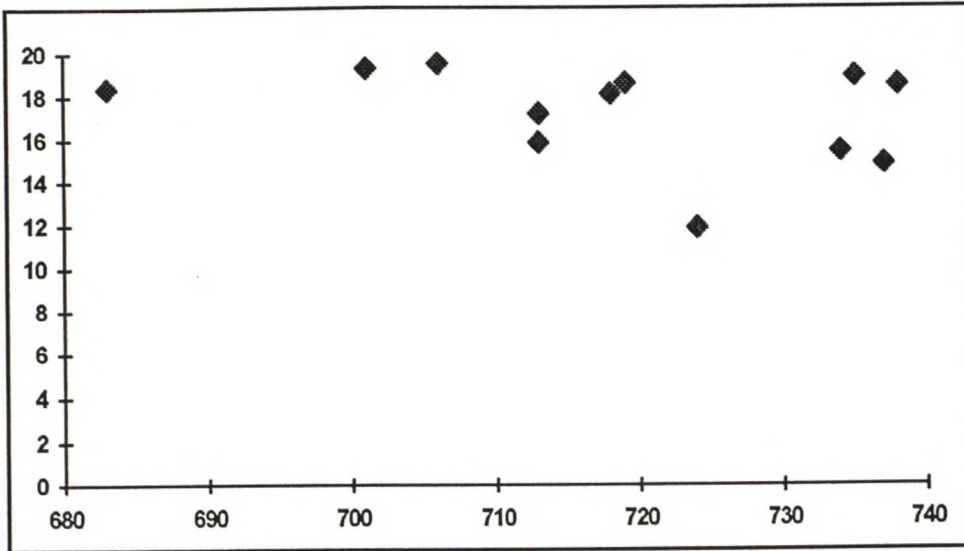
Tiheyden muutos vaikuttaa lievän positiivisesti taivutuslujuuteen muovi-%:lla 30.



Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 30 % )

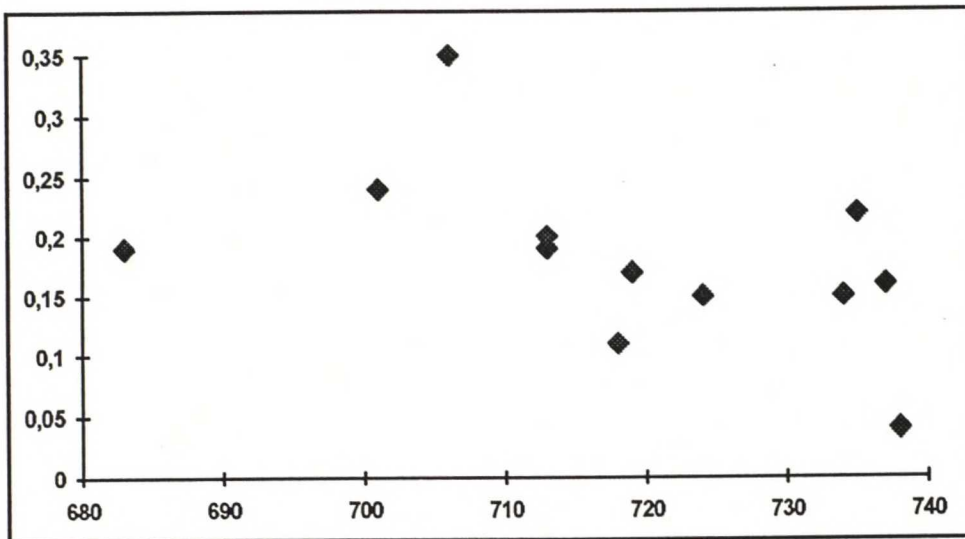
Tiheyden kasvaessa poikittaisvetolujuus kasvaa selvästi muoviosuudella 30 %.





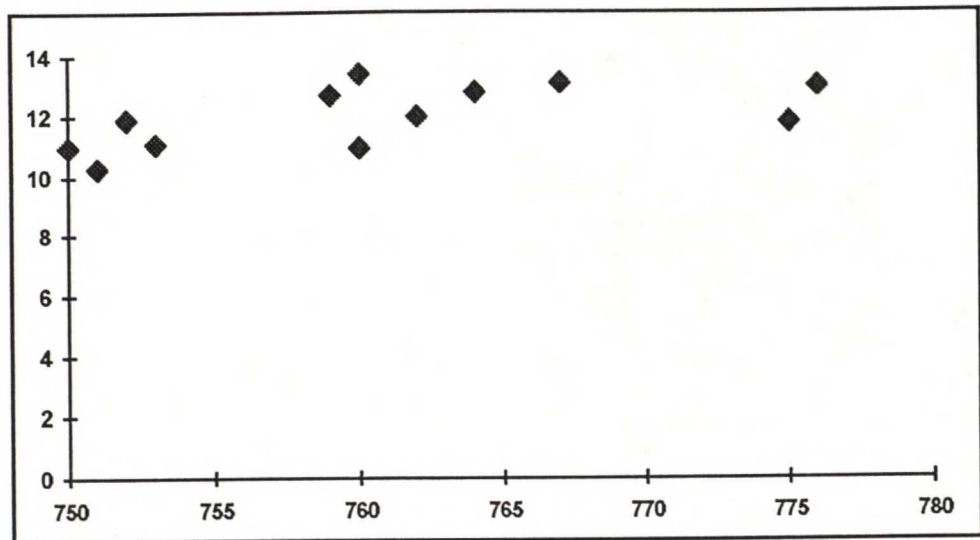
Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 30 % )

Tiheyden muutokset eivät vaikuta paksuusturpoamaan muoviosuudella 30 %.  
Kuvioista huolimatta suuntaus ei liene laskeva.



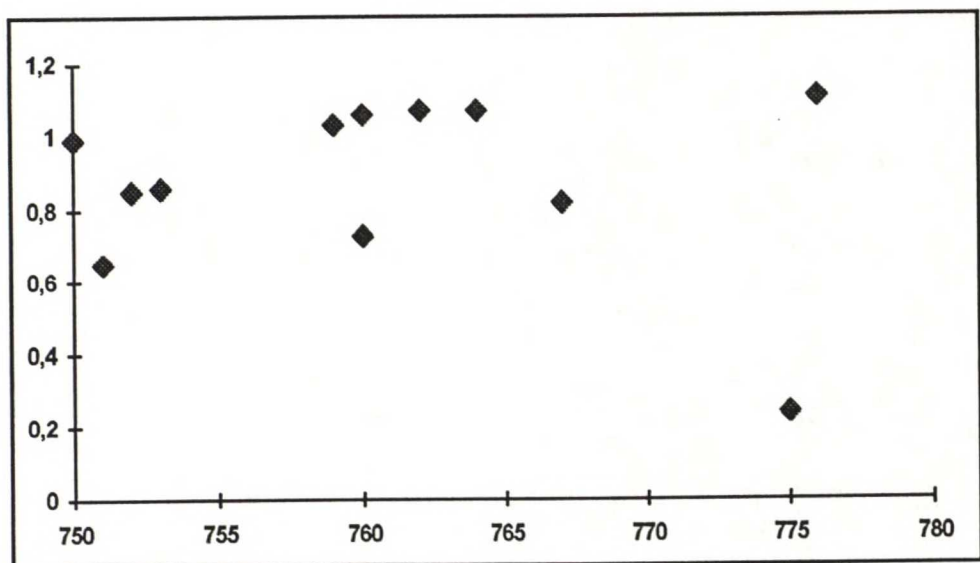
Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 30 % )

Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan muovi-%:lla 30 on epäselvä.  
Kuitenkaan tiheyden lisääminen ei lisää turpoamaominaisuuksia.



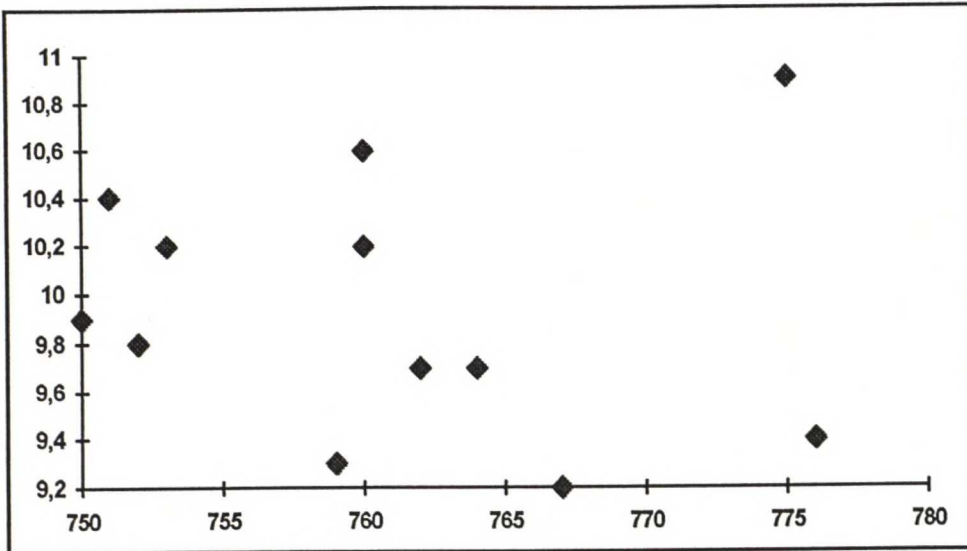
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 50 % )

Taivutuslujuus kasvaa lievästi tiheyden kasvaessa muoviosuudella 50 %.



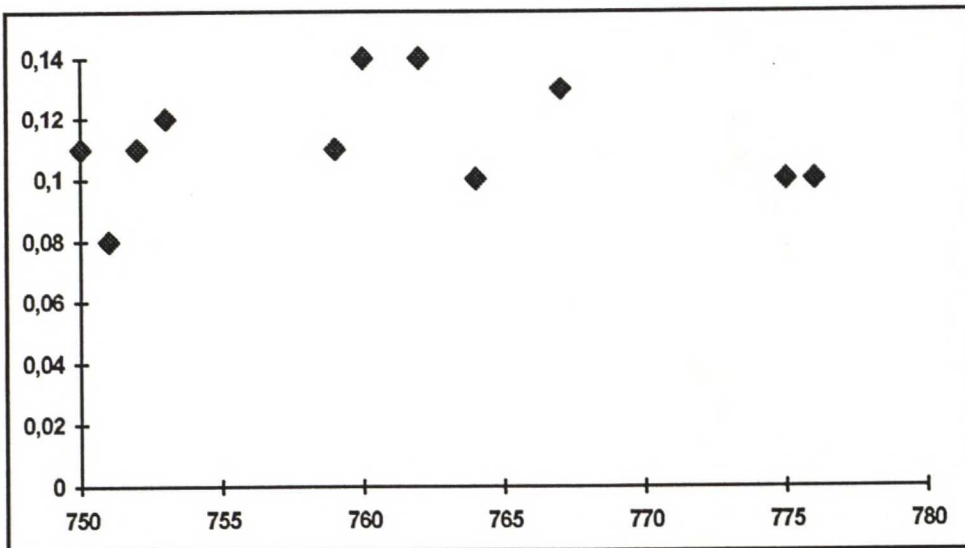
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 50 % )

Tiheyden kasvaessa poikittaisvetolujuus kasvaa lievästi, kun muovia on levyssä 50 %.



Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 50 % )

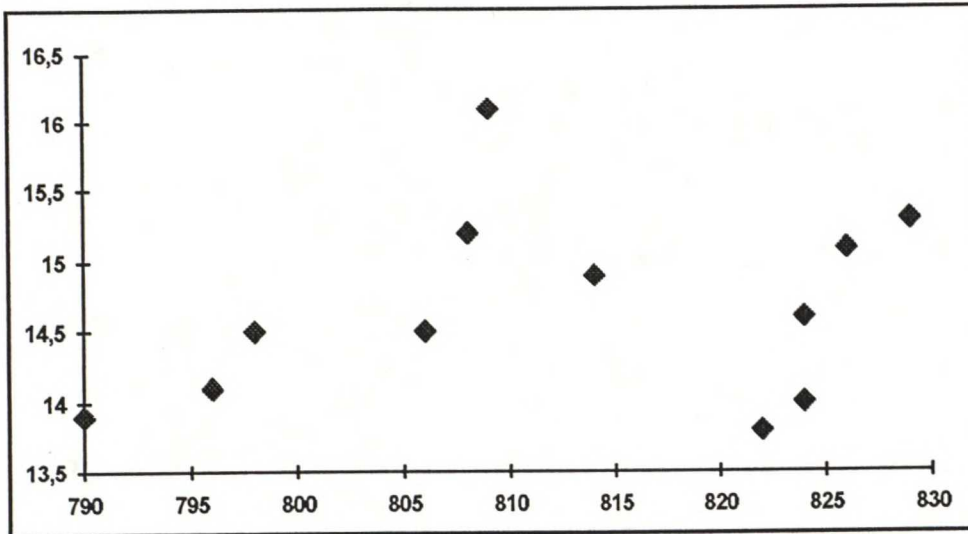
Tiheyden kasvaessa paksuusturpoama paranee 50 %:n muoviosuudella selvästi.



Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 50 % )

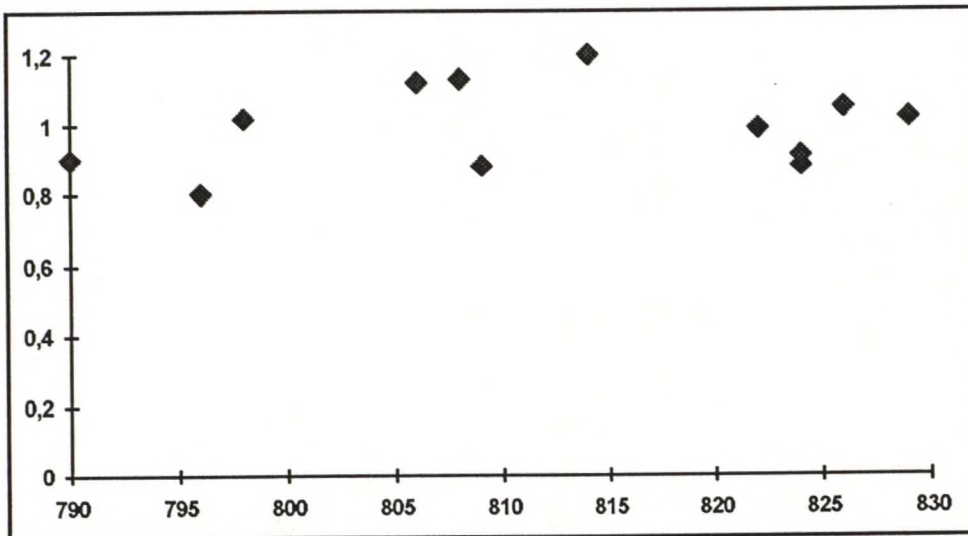
Pituusturpoamaan eivät tiheyden muutokset vaikuta muoviprosentilla 50.





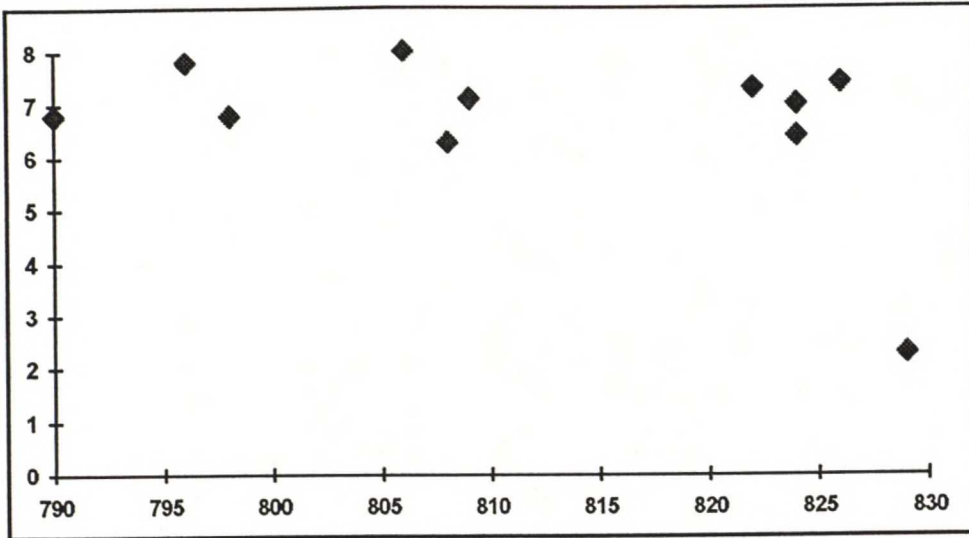
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 60 % )

Muoviosuudella 60 % tiheydellä ei näyttäisi olevan selvää yhteyttä taivutuslujuuteen.



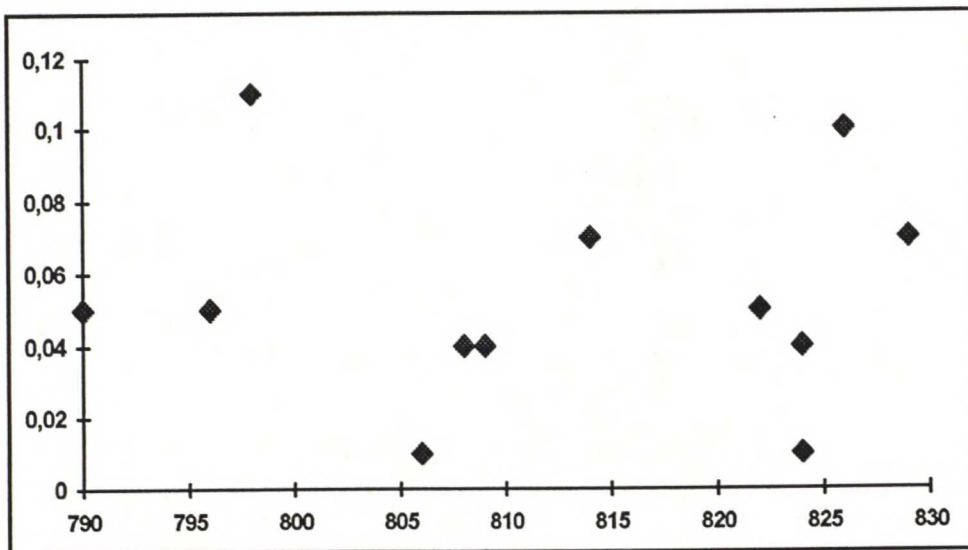
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 60 % )

Poikittaisvetolujuus kasvaa lievästi tiheyden kasvaessa, kun muovia on levystä 60 %.



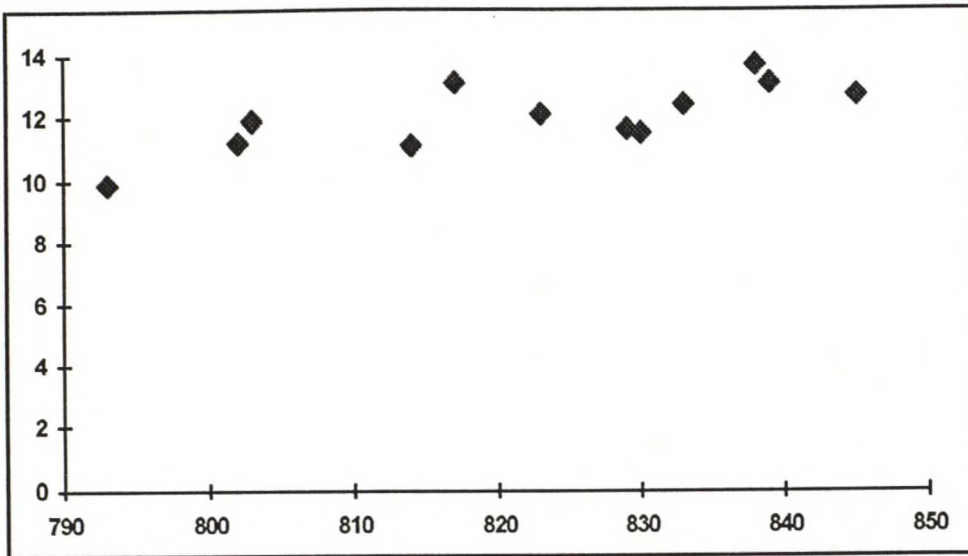
Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 60 % )

Paksuusturpoama paranee lievästi tiheyden kasvaessa muovi%:lla 60 %.



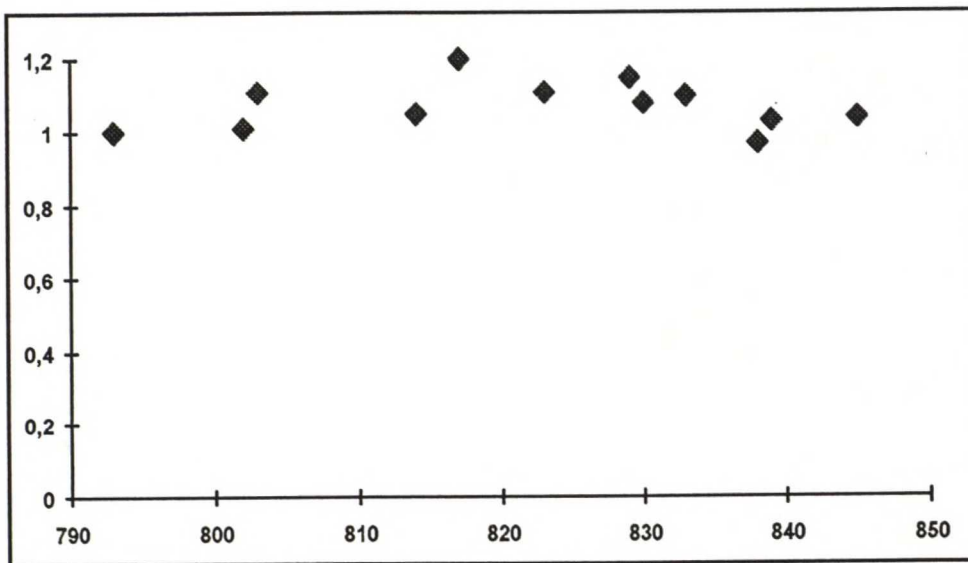
Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 60 % )

Tiheys ei vaikuta pituusturpoamaan muoviosuudella 60 %.



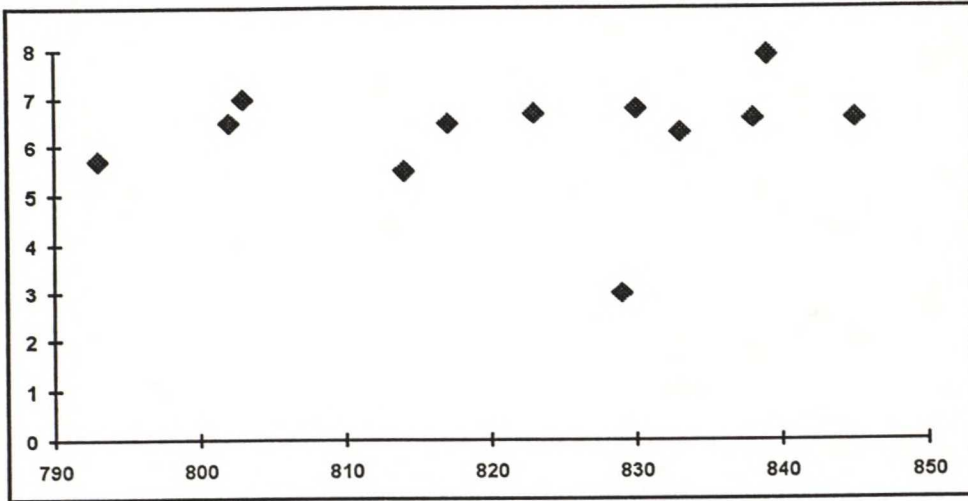
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( 70 % )

Taivutuslujuus kasvaa lievästi tiheyden kasvaessa muoviosuudella 70 %.



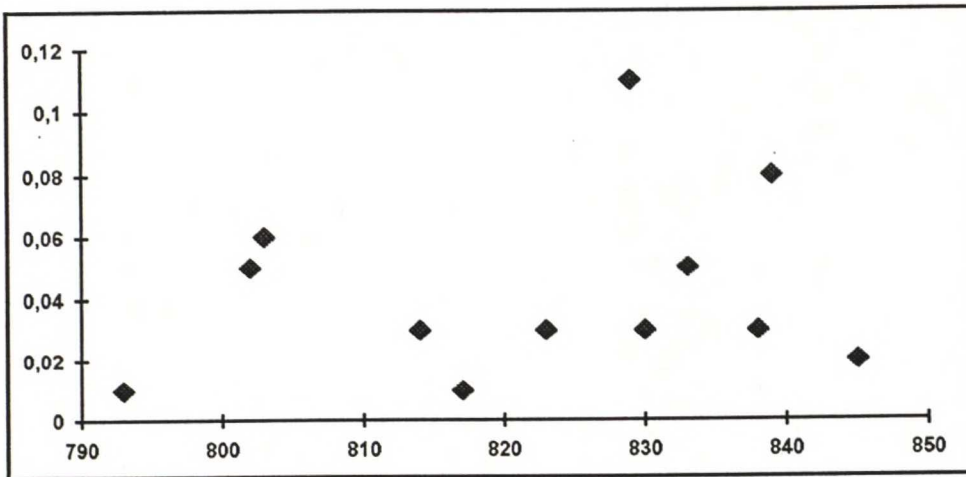
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( 70 % )

Poikittaisvetolujuudella ja tiheydellä ei juuri ole yhteyttä muoviosuuden ollessa 70 %.



Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( 70 % )

Paksuusturpoamaan ei tiheys vaikuta selvästi 70 %:n muoviosuudella.



Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( 70 % )

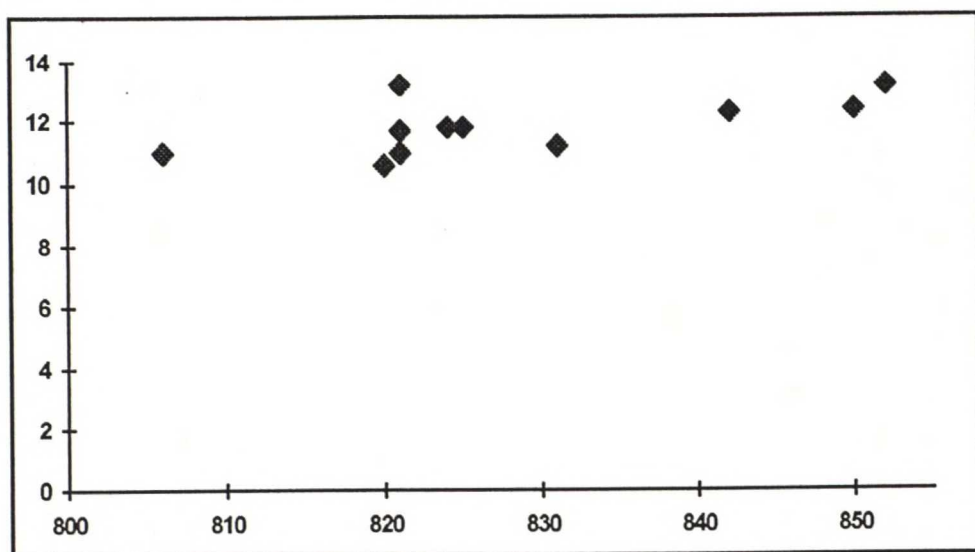
Pituusturpoama laskee erittäin lievästi tiheyden kasvaessa, kun muovia on levystä 70 %.

Yhteensä tiheyden vaikutuksesta A-sarjaa tutkittaessa voitaisiin sanoa, että lujuusominaisuudet kasvavat tiheyden kasvaessa. Lisäksi kasvu on sitä suurempi, mitä pienempi muoviosuus on.

Turpoamaominaisuuksiin tiheys ei vaikuta pienillä muoviosuuksilla laisinkaan, ja suurillakin muoviosuuksilla ominaisuuksien paraneminen on vähäistä.

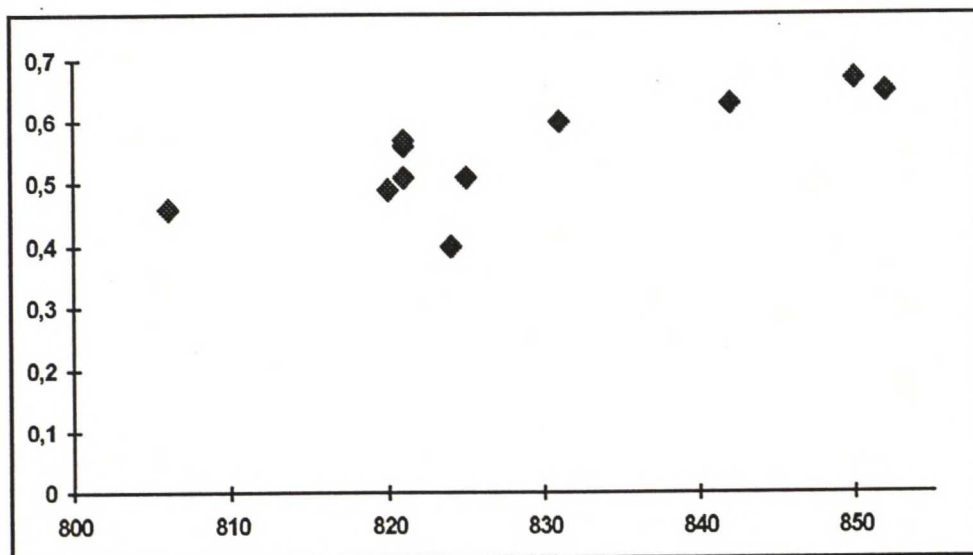


# **TIHEYDEN VAIKUTUS B-SARJAN LEVYIHIN**



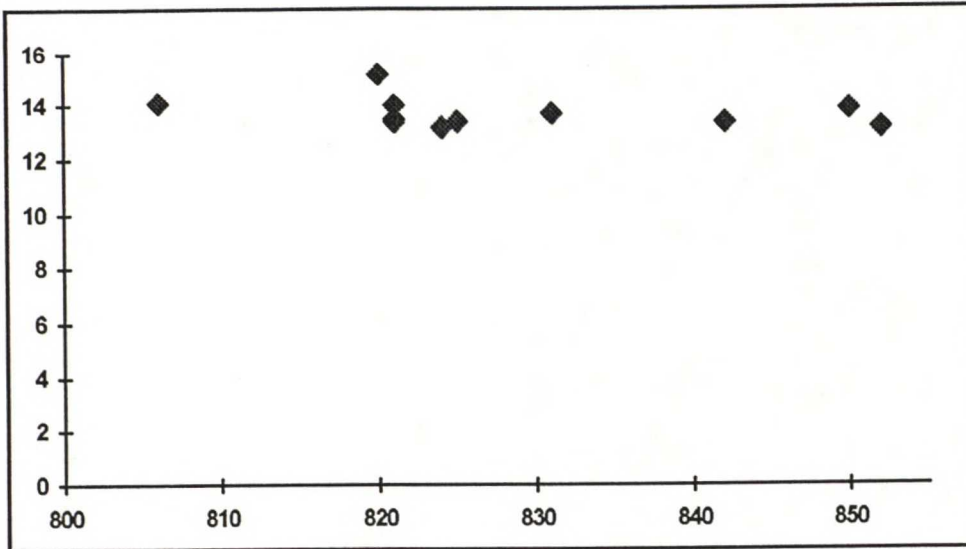
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( Pintalastu )

Taivutuslujuus lisääntyy lievästi tiheyden kasvaessa pintalastua käytettäessä.



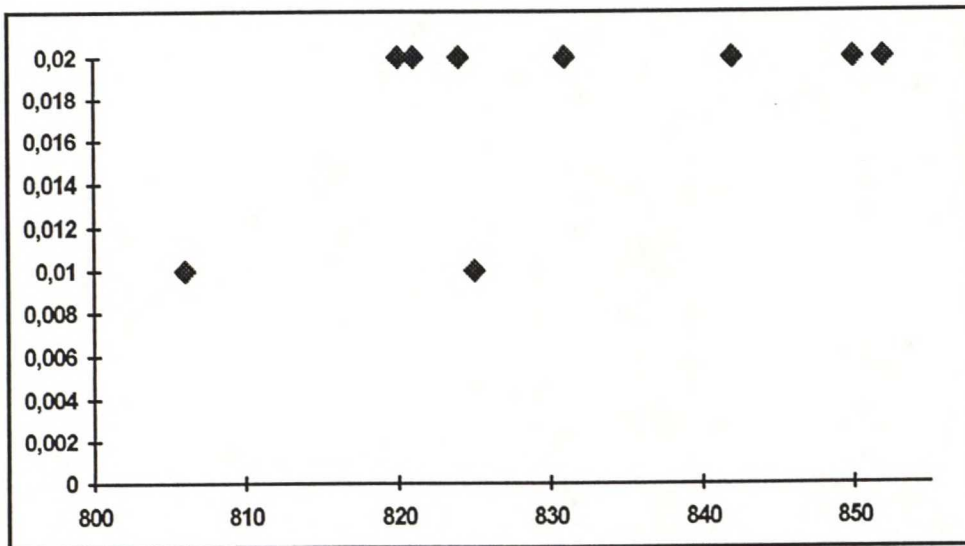
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( Pintalastu )

Poikittaisvetolujuus lisääntyy selvästi poikittaisvetolujuuden lisääntyessä, kun keskellä on pintalastua.



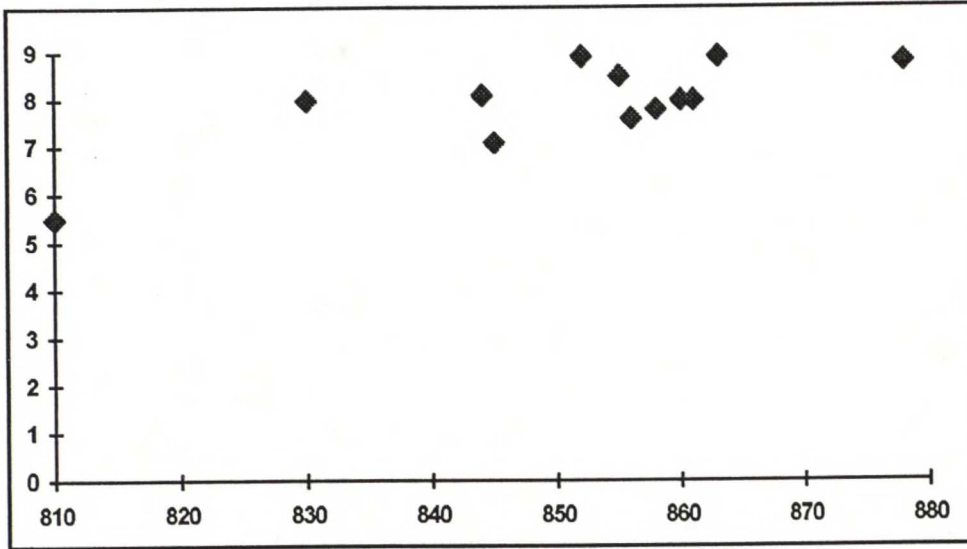
Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( Pintalastu )

Pintalastu-levyllä tiheyden kasvu parantaa hieman paksuusturpoamaa.



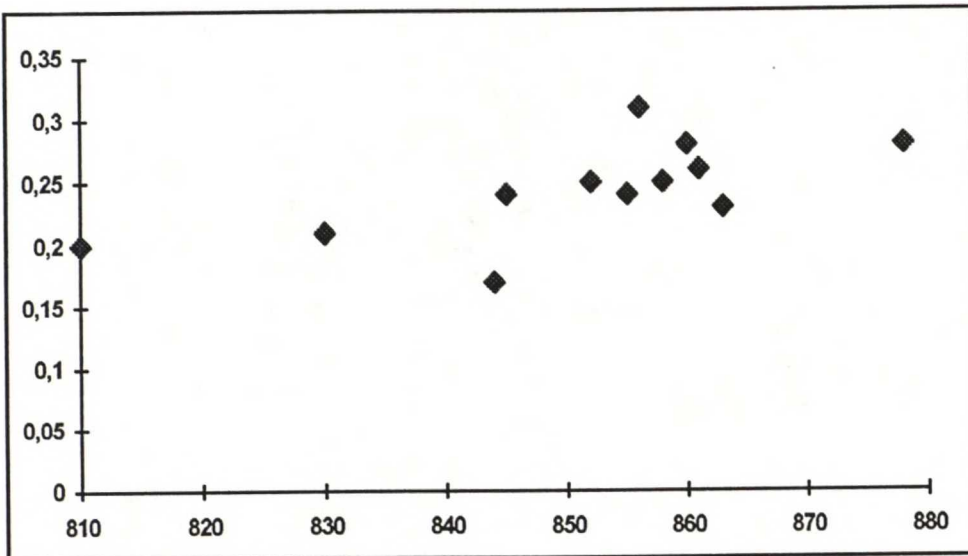
Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( Pintalastu )

Pituusturpoama ei sanottavasti muut tiheyden muuttuessa pintalastulla.  
Tiheyden lisääntyminen saattaa aiheuttaa lievää paranemista.



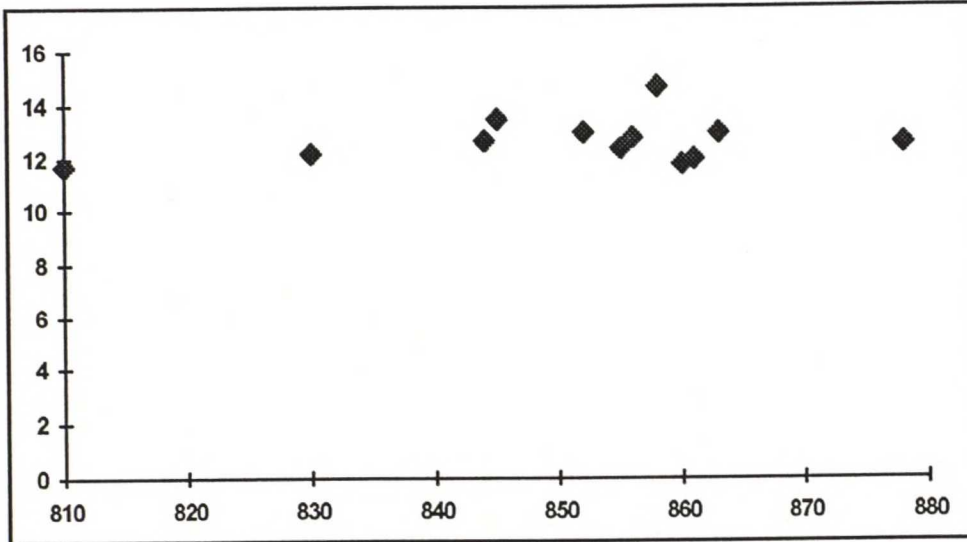
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( Pöly )

Pölyä käytettäessä tiheyttä kasvattamalla saadaan taivutuslujuudeltaan parempaa levyä.



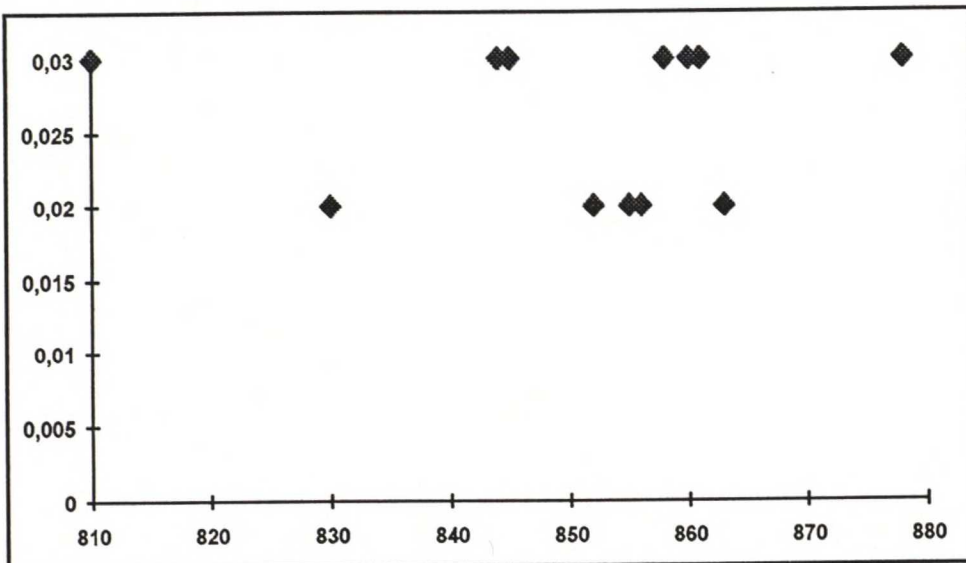
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( Pöly )

Poikittaisvetolujuus paranee selvästi tiheydne kasvaessa pölylevyllä.



Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( Pöly )

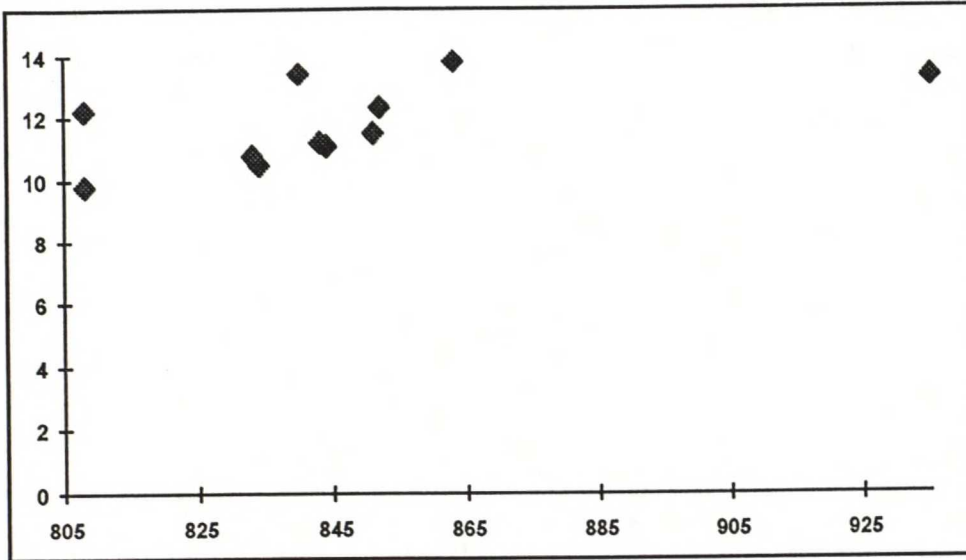
Pölylevyn paksuusturpoamaominaisuuksiin tiheyden muutokset eivät juuri vaikuta.



Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( Pöly )

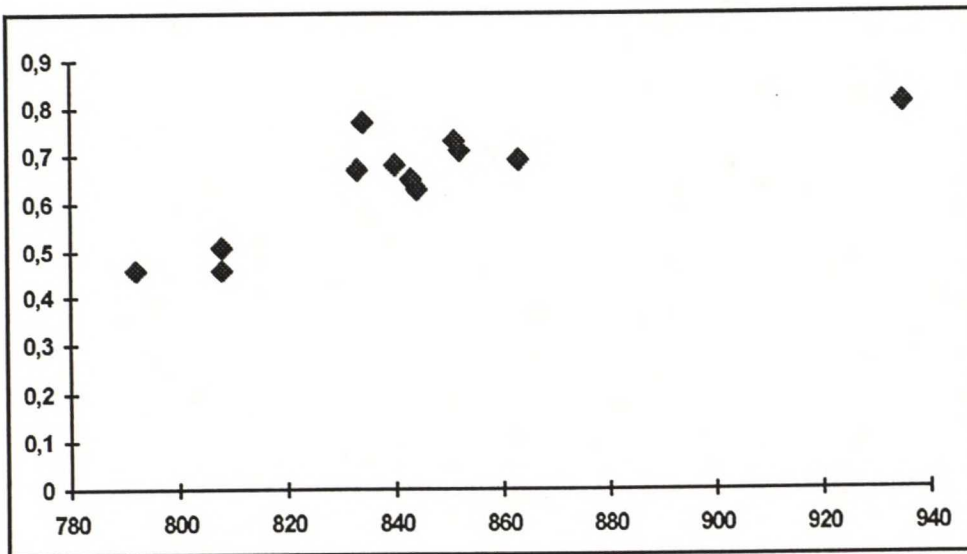
Tiheyden pituusturpoamaa heikentävä vaikutus on satunnaista pölylevyllä.





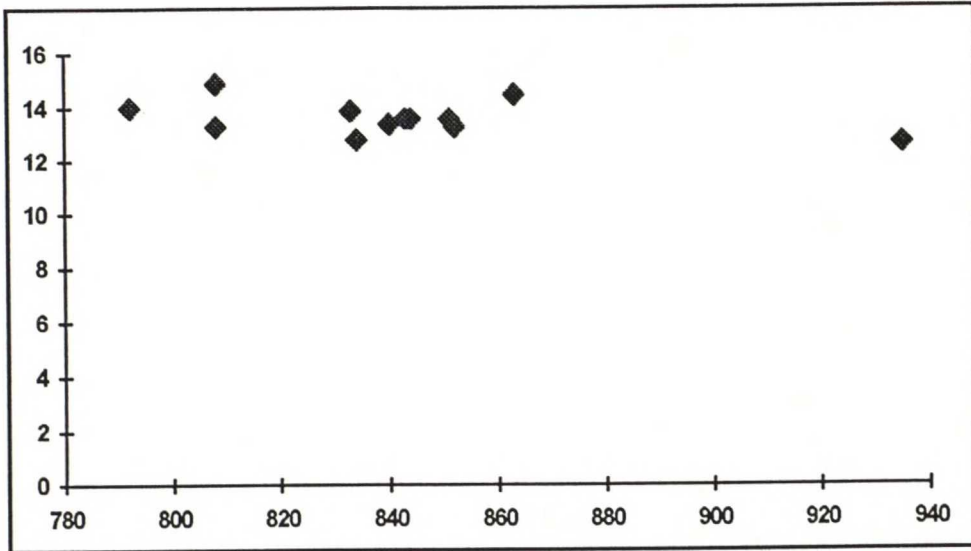
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( Bauer-kuitu )

Bauer-kuitua käytettäessä taivutuslujuus kasvaa lievästi tiheyden kasvaessa.



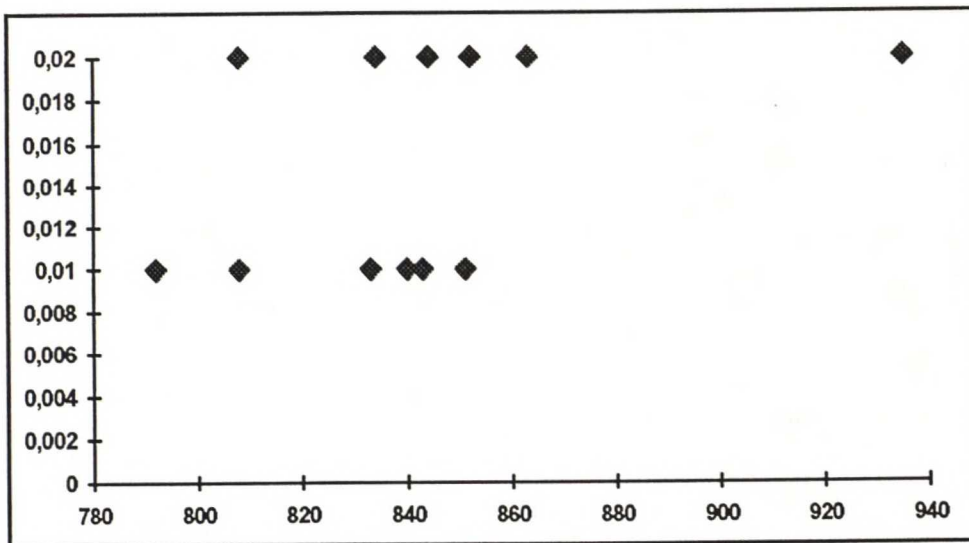
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( Bauer-kuitu )

Poikittaisvetolujuus paranee selvästi tiheyden kasvaessa, kun käytetään Bauer-kuitua.



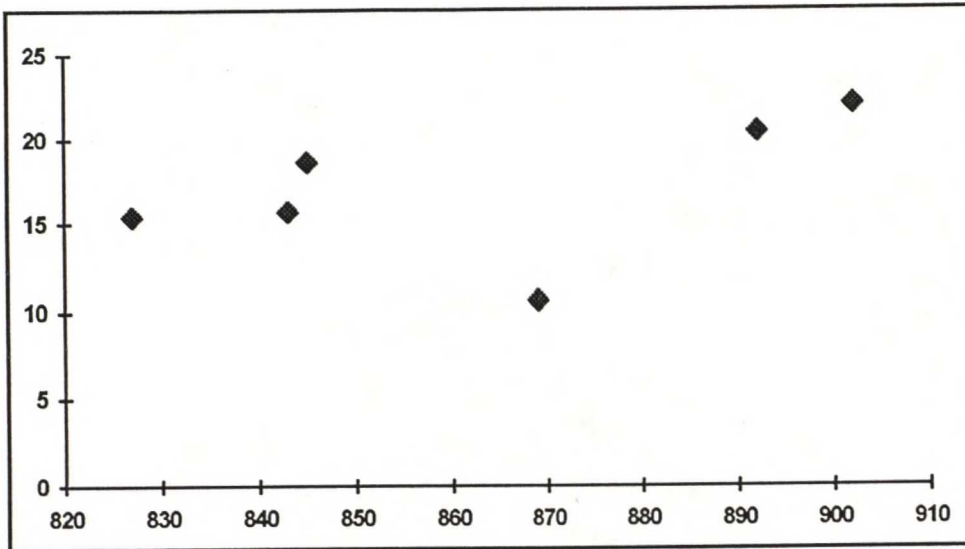
Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( Bauer-kuitu )

Paksuusturpoama paranee lievästi tiheydne kasvaessa Bauer-kuidulla.



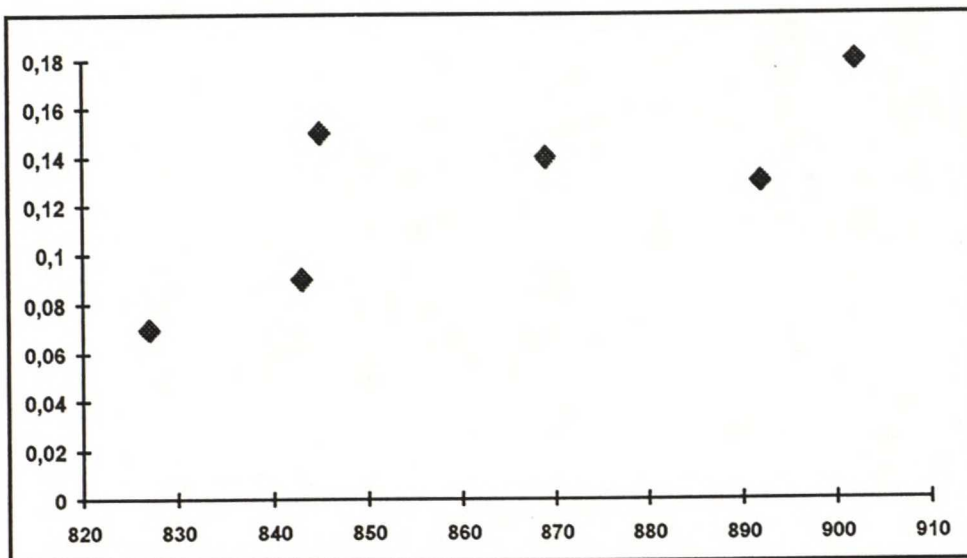
Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( Bauer-kuitu )

Tiheyden vaikutus Bauer-kuidun pituusturpoamaan on satunnaista.



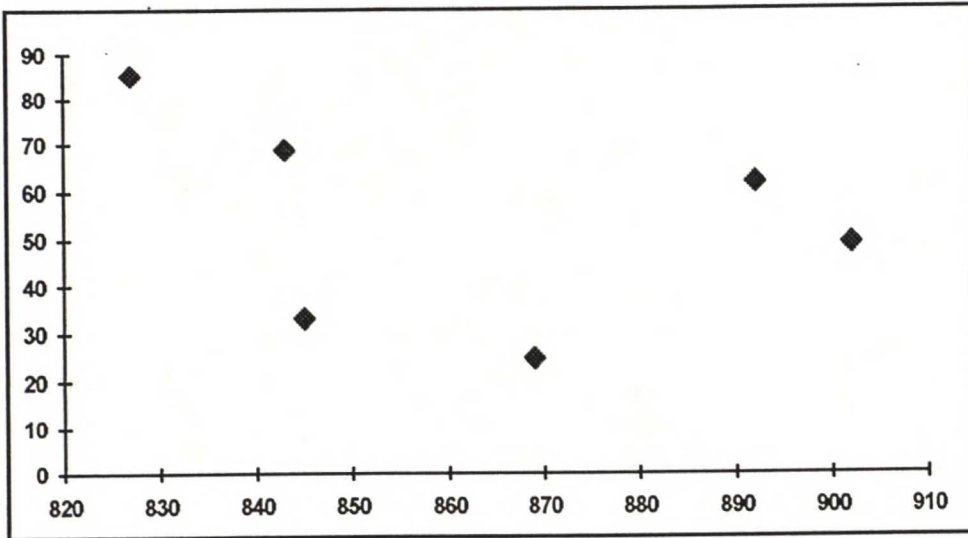
Tiheyden vaikutus taivutuslujuuteen ( Strand )

Strand-levyn taivutuslujuus paranee tiheyden kasvaessa. Paranemiseen vaikuttanee suuremman tiheyden aiheuttava muovin suurempi määrä.



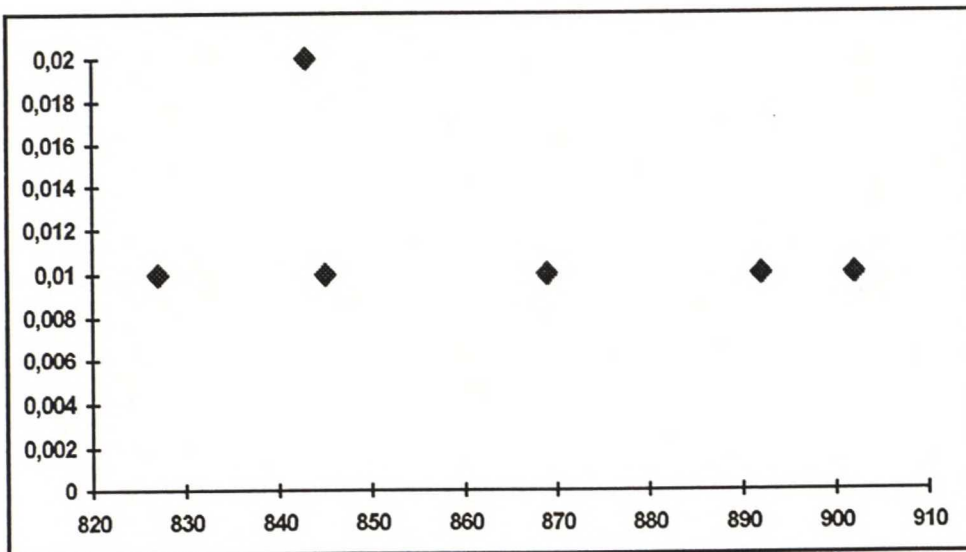
Tiheyden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ( Strand )

Poikittaisvetolujuus paranee strand-levyllä tiheyden noustessa. Syy lienee sama kuin aikaisemmassa tapauksessa.



Tiheyden vaikutus paksuusturpoamaan ( Strand )

Paksuusturpoama paranee lievästi tiheyden noustessa strandia käyttäessä.



Tiheyden vaikutus pituusturpoamaan ( Strand )

Tiheys ei vaikuta pituusturpoamaan strand-levyllä.

Yhteensä voitaisiin sanoa, että pölyllä ja strandilla tiheyden nostaminen parantaa kaikkia ominaisuuksia. Bauer-kuitua ja pintalastua käytettäessä paranevat lujuusominaisuudet tiheyttä nostettaessa, turpoamaominaisuuksiin se ei juuri vaikuta.

Pienin parannus oli pituusturpoamaan. Keskilastulla muutokset ovat hyvin vähäisiä



~~TEKNILLINEN KORKEAKOULU~~  
~~Puun mekaanisen teknologian~~  
~~laboratorion käsikirja~~